

**CARTOGRAFIA GEOLOGICA Y CALCULO DE BALANCE HIDRICO PARA LA
CONSTRUCCION DE LA REPRESA DE LA HIDROELECTRICA DE
SANTANDER- MUNICIPIO DE LOS SANTOS, SANTANDER**

Elaborado por:

ANGELA JULIETH DIAZ RODRIGUEZ

JEIMY LISSETH MARTINEZ HIGUERA

UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA

ESCUELA DE INGENIERIA GEOLOGICA

SECCIONAL SOGAMOSO

SOGAMOSO

2016

**CARTOGRAFIA GEOLOGICA Y CALCULO DE BALANCE HIDRICO PARA LA
CONSTRUCCION DE LA REPRESA DE LA HIDROELECTRICA DE
SANTANDER- MUNICIPIO DE LOS SANTOS, SANTANDER**

ANGELA JULIETH DIAZ RODRIGUEZ

JEIMY LISSETH MARTINEZ HIGUERA

Modalidad: Monografía

Director del Proyecto: Jorge Eliecer Mariño

UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA

SECCIONAL SOGAMOSO

ESCUELA DE INGENIERIA GEOLOGICA

SOGAMOSO

2016

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	10
1. OBJETIVOS	11
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	11
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	11
2. METODOLOGIA.....	12
3. GENERALIDADES	15
3.1 LOCALIZACION GEOGRAFICA DEL AREA DEL PROYECTO	15
3.2 ASPECTOS GEOGRAFICOS Y GEOMORFOLOGICOS.....	17
3.2.1 Morfometría	17
3.3 VIAS DE ACCESO	20
3.4 CLIMA Y VEGETACION.....	20
3.5 TECTONICA	21
3.5.1 Fallas Plegamientos Regionales	22
3.5.2 Fallas y Plegamientos Área de Estudio.	24
4. GEOLOGIA	25
4.1 ESTRATIGRAFIA	25
4.2.1 Sistema Jurásico	25
4.2.3 CUATERNARIOS	31
5. COBERTURA VEGETAL	34
6. HIDROLOGÍA.....	38
6.1. HIDROGRAFIA.....	39
6 .2 CUENCA HIDROGRAFICA	41
6.2.1 Parámetros Físicos- Morfométricos de las Cuencas.	44
6.2.2 Parámetros de Drenaje	50
7. CARACTERIZACION HIDROMETEOROLOGICA	60
7.1 DATOS METEOROLÓGICOS	60
7.2 PRECIPITACIÓN.....	62
7.2.1 Precipitación Media	68
7.3 TEMPERATURA.....	70
7.4 HUMEDAD RELATIVA	72

7.5 EVAPORACIÓN	74
7.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	74
7.5.1 Evapotranspiración Potencial	74
7.5.2 Evapotranspiración Media	77
7.5.2 Evapotranspiración Real Anual	77
7.6 ESCORRENTÍA SUPERFICIAL	79
7.7 INFILTRACIÓN.....	82
7.8 BALANCE HIDRICO	83
7.9 CAUDAL	87
7.9.1 Caudal Medio	87
7.9.2 Análisis de Caudales	88
7.9.3 Caudal Mínimo y Ecológico	91
7.10 ÍNDICE DE ESCASEZ.....	93
7.10 PERIODOS DE RETORNO	94
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
BIBLIOGRAFÍA.....	99

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Esquema Metodológico del Proyecto.....	14
Imagen 2. Localización Geográfica del Área de Estudio	16
Imagen 3. Flujo de Modelamiento para obtener Mapa de Pendientes.....	18
Imagen 4. Mapa del rango de pendientes en la zona de estudio.....	19
Imagen 5. Vías de Acceso al área de Estudio.....	20
Imagen 6. Esquema Tectónico del Departamento de Santander.....	21
Imagen 7. Fallas y Plegamientos en el Departamento de Santander	22
Imagen 8. Mapa Geológico de La Zona de Estudio	32
Imagen 9. Mapa Geológico con Inundación de cada uno de los Ríos	33
Imagen 10. Imagen Satelital utilizada Para La Realización de Mapa Cobertura.....	34
Imagen 11. Flujo de Modelamiento Imagen Satelital, Para Obtener Mapa de Cobertura Vegetal.....	35
Imagen 12. Cobertura Vegetal del Área de Estudio	37
Imagen 13. Mapa Hidrográfico del Área de Estudio	40
Imagen 14. Flujo de Modelamiento Para Obtener Mapa de Delimitación de Subcuencas	42
Imagen 15. Mapa de delimitación de Cuencas	43
Imagen 16. Flujo de Modelamiento para Obtener Longitud de Cauces Principales	51
Imagen 17. Flujo de Modelamiento para Obtener Orden de Red Hídrica.....	53
Imagen 18. Ubicación de Estaciones Meteorológicas Utilizadas en el Estudio	61
Imagen 19. Flujo de Modelamiento para Obtener Mapa de Isoyetas.....	68
Imagen 20. Mapa de Isoyetas	69
Imagen 21. Flujo de Modelamiento Para Generación de Mapa de Isotermas	70
Imagen 22. Mapa de Isotermas	71
Imagen 23. Flujo de Modelamiento Para la Generación de Mapa de Humedad Relativa..	72
Imagen 24. Mapa de Humedad Relativa.....	73
Imagen 25. Flujo de Modelamiento Para Generar Mapa de Evapotranspiración.....	75
Imagen 26. Mapa de Evapotranspiración Potencial	76
Imagen 27. Flujo de Modelamiento Para Generar Mapa de Balance Hídrico	85
Imagen 28. Mapa Balance Hídrico de Zona de Estudio.....	86

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Coordenadas del Área de Estudio	15
Tabla 2. Clasificación de pendientes según Van Zuidam	17
Tabla 3. Área de Subcuencas en la Zona	44
Tabla 4. Valores de Perímetro de Subcuencas.....	45
Tabla 5. Cotas Máximas y Mínimas en la Zona de Estudio	45
Tabla 6. Valores de Factor de Forma para las Subcuencas	46
Tabla 7. Valores de Razón de Elongación para Subcuencas.....	48
Tabla 8. Valores de Razón Circular de la Subcuencas.....	49
Tabla 9. Valores de Tiempo de Concentración de las Subcuencas	50
Tabla 10. Longitud del cauce principal	51
Tabla 11. Longitud Red Hídrica	55
Tabla 12. Valores de Pendiente Promedio de Red Hídrica.....	52
Tabla 13. Valores de Densidad de Drenaje	55
Tabla 14. Orden de Red Hídrica	54
Tabla 15. Valores de Alturas y Área Subcuenca Sogamoso	57
Tabla 16. Valores de Altura y Área de Subcuenca Chicamocha.....	58
Tabla 17. Valores de Alturas y Áreas de Subcuenca Río Suarez	59
Tabla 18. Estaciones Meteorologicas Utilizadas IDEAM.....	60
Tabla 19. Valores de Evapotranspiración Potencial por Estación.....	75
Tabla 20. Valores de Evapotranspiración Anual	78
Tabla 21. Clasificación Hidrológica De La Vegetación	79
Tabla 22. Calculo de Valor de Número de Curva	80
Tabla 23. Valor de Escorrentía en la Zona de Estudio.	81
Tabla 24. Balance Hídrico.....	83
Tabla 25. Estaciones de Caudal para Análisis	87
Tabla 26. Valores Medios Mensuales de Caudales	88
Tabla 27. Valor Medio Mensual Río Suarez	89
Tabla 28. Valores Caudal Mínimo y Caudal Ecológico Rio Chicamocha.....	90
Tabla 29. Valores Caudal Mensual Mínimo del Rio Suarez	90
Tabla 30. Valores Medios, Mínimos Mensuales de Caudales Río Chicamocha.....	91
Tabla 31. Caudal Ecológico en el Área	92
Tabla 32. Clasificación de Índices de Escasez	93
Tabla 33. Periodos de Retorno de 5,10,25,50 y 100 años- precipitaciones máximas	94
Tabla 34. Intensidad de Lluvia Según Periodos de Retorno.....	95
Tabla 35. Intensidad y Tiempo de Duración	95

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1. Panorámica de la Formación Girón en contacto con Formación Tambor. Cañón del Río Chicamocha.....	26
Fotografía 2. Panorámica de la Formación Girón, en el Cañón del Río Sogamoso.	27
Fotografía 3. Afloramiento de la Formación Tambor, Areniscas amarilla rojiza de grano fino, expuesta en el Río Sogamoso.....	28
Fotografía 4. Panorámica de Formación Tambor, Cañón de Río Sogamoso	28
Fotografía 5. Panorámico de la Formación Tambor en Contacto con la Formación Rosa Blanca	29
Fotografía 6. Mina de extracción de yeso, perteneciente a la Formación Rosa Blanca.....	29
Fotografía 7. Panorámica de Cañón del Chicamocha, se observa el contacto de las Formaciones Tambor y Rosa Blanca.....	30
Fotografía 8. Vista panorámica de la Formación Paja en contacto con la Formación Rosa Blanca	30

LISTA DE GRAFICOS

Grafico 1. Curva Hipsométrica Subcuenca Río Sogamoso	57
Grafico 2. Curva Hipsométrica de Subcuenca Río Chicamocha.....	58
Grafico 3. Curva Hipsométrica Subcuenca Río Suarez.....	59
Grafico 4. Histograma de Frecuencia de la Estación Santa Isabel.....	63
Grafico 5. Histograma de Frecuencia de Estación La Mesa.....	63
Grafico 6. Histograma de Frecuencia de Estación Zapatoca.....	64
Grafico 7. Histograma de Frecuencia de Estación La Fuente	64
Grafico 8. Histograma de Frecuencia de Estación Cepita.....	65
Grafico 9. Precipitación Media Multianual	66
Grafico 10. Precipitación Media Anual 1974-2015	67
Grafico 11. Precipitación Media Mensual Zona de Estudio.....	67
Grafico 12. Histograma de Frecuencia de Escorrentía Superficial en la zona.....	81
Grafico 13. Balance Hídrico.....	84
Grafico 14. Grafica de Valor Medio Mensual de Caudales Río Chicamocha.....	89
Grafico 15. Valor Medio Mensual de Caudales Río Suarez.....	89
Grafico 16. Grafica Valor Mínimo Mensual de Caudal Río Chicamocha	90
Grafico 17. Grafica Valor Mínimo Mensual del Río Suarez.....	91
Grafico 18. Caudal Ecológico Vs Caudal Útil	92
Grafico 19. Curvas Intensidad de frecuencia.....	96

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1. Mapa Geológico
- Anexo 2. Mapa Geológico con Inundación
- Anexo 3. Mapa de Pendientes
- Anexo 4. Mapa de Cobertura
- Anexo 5. Mapa de Red Hídrica
- Anexo 6. Mapa Delimitación de Subcuencas
- Anexo 7. Mapa de Isoyetas
- Anexo 8. Mapa de Isotermas
- Anexo 9. Mapa Humedad Relativa
- Anexo 10. Mapa de Evapotranspiración
- Anexo 11. Mapa Balance Hídrico

INTRODUCCION

Dentro del estudio y diseño del proyecto hidroeléctrico de Santander (Hidro-Santander) se tiene definido proyectar una represa la cual se ubicara en la parte occidental del municipio de Los Santos en el departamento de Santander en el Río Sogamoso, esta represa inundara dos sectores pertenecientes al río Suarez y río Chicamocha hasta una cota de 450 m. Para contribuir al desarrollo de este proyecto se realiza la cartografía geológica y el cálculo de balance hídrico del sector donde se establezcan criterios y características que permitan la toma de decisiones y sean relevantes para la construcción de la represa.

A continuación se plasma los resultados de la cartografía geológica en el área, elaborando el mapa geológico a una escala 1:25.000 y con la descripción de las unidades encontrada con las principales características. El cálculo de balance hídrico se realiza teniendo en cuenta una serie de datos suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) realizando los respectivos cálculos y determinación de parámetros hídricos del sector como precipitación media, escorrentía, infiltración, evapotranspiración real y potencial, índice de escasez y caudal ecológico.

Para el análisis morfométrico se delimitaron tres subcuencas una para cada tramo de los ríos presentes en la zona, el Río Suarez, el Río Chicamocha y la sección que hacia el municipio de Zapatoca toma el nombre de Río Sogamoso, esta delimitación se elaboró mediante el software de ArcGis 10.2, fue necesario tomar un área de proyección mayor para lograr observar la totalidad de las subcuencas formadas, a partir de esta delimitación se procedió al cálculo de parámetros físicos e hidrológicos de cada una de las tres subcuencas, estos datos obtenidos serán de gran relevancia para le obra ingenieril a realizar.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar la cartografía geológica a escala 1:25.000 y cálculo de balance hídrico para la construcción de la represa de la hidroeléctrica de Santander- municipio de los santos, Santander.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recopilar la información geológica e hidrológica correspondiente al área de estudio.
- Clasificar y procesar la información solicitada de las estaciones meteorológicas aledañas al área de estudio.
- Determinar los parámetros Morfométricos para la cuenca y tramo en estudio.
- Realizar el balance hídrico de la cuenca
- Calcular los caudales medio, mensual, multianual
- Establecer un índice de escasez para condiciones hidrológicas
- Calcular diferentes periodos de retorno (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años).

2. METODOLOGIA

Este proyecto se realizó a partir de información obtenida visita de campo complementada con información bibliográfica regional y suministro de datos hidrometeorológicos proporcionados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.

Se determinó una geología regional con base a la planchas geológicas 120 y 135 Santander a escala: 1:100000 del Servicio Geológico Colombiano (antiguo Ingeominas). A partir de información obtenida se generó plano a escala 1: 25000 del sector de estudio.

Se realiza una delimitación de cuencas hidrográficas en el área de estudio con el fin de determinar ciertas características relevantes en cuanto al aspecto hídrico y cálculo de balance hídrico, que proporcionaran datos e información relevantes que cumplan con la finalidad del proyecto.

ETAPA 1. RECOPIACION DE INFORMACION BASICA Y ANALISIS DE LAS MISMA

Delimitación y adquisición de información de la zona, localización, altitud, vías de acceso entre otras generalidades; consulta de antecedentes a nivel de geología de campo, estructural, estratigrafía y las técnicas a aplicar; estudio del área delimitada a través de planchas geológicas regionales (120 y 135 Santander a escala 1:100000 del Servicio Geológico Colombiano) y planchas topográficas.

ETAPA 2. VISITA DE CAMPO

El desarrollo de esta etapa permitirá mediante observaciones cualitativas y cuantitativas, establecer una descripción detallada de la zona de estudio, al reconocer las características, topográficas, morfológicas, litológicas, estratigráficas y estructurales propias de esta.

ETAPA 3. ANALISIS E INTERPRETACION DE INFORMACION OBTENIDA

Recepción y análisis de toda la información exploratoria a nivel de documentos en volúmenes de geología y datos meteorológicos suministrados por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), y los mapas a escala 1:100.000 de las planchas 120 y 135, Santander, suministradas por el Servicio Geológico Colombiano (anterior INGEOMINAS).

ETAPA 4. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

Digitalización del mapa geológico a una escala de 1:25000, y descripción de unidades geológicas identificadas en campo estas son relacionadas con las presentes en las planchas geológicas 120 y 135 Santander del Servicio Geológico Colombiano, esta información se presenta en el capítulo de Geología del área de estudio.

ETAPA 5. DETERMINACION DE PARAMETROS FORMOMETRICOS DE LA CUENCA Y CALCULO DE BALANCE HIDRICO

Mediante el procesamiento de datos en software como ArGis V 10.2 e Idrisi Selva, se delimita las cuencas dentro del área de estudio, estimando un área de proyección mayor, logrando ver las subcuencas formadas a totalidad y estimando los parámetros morfométricos de las cuencas.

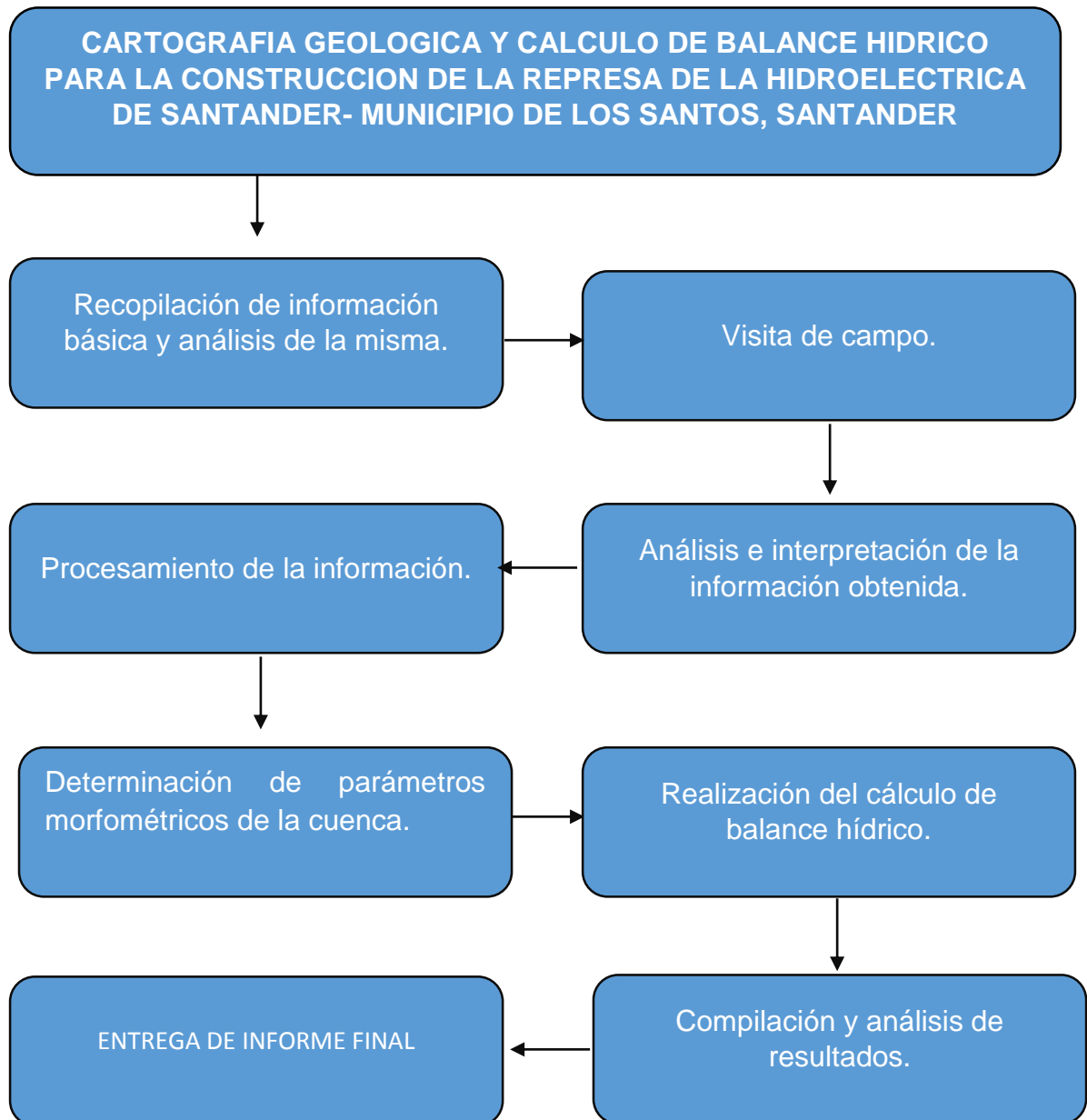
ETAPA 6. REALIZACIÓN DEL CALCULO DE BALANCE HIDRICO

Para el cálculo de balance hídrico es necesario adquirir una serie de datos meteorológicos de seis estaciones ubicadas dentro del área de estudio, las cuales permiten obtener los valores de infiltración, escorrentía, periodos de retorno y balance hídrico.

ETAPA 7. COMPILACION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Presentación de las últimas actividades compiladas en el proyecto para revisión, corrección y mejora por parte de los asesores correspondientes. Evaluación; exposición de resultados, conclusiones y recomendaciones de las actividades del proyecto desde el punto de vista de ingeniería geológica.

Imagen 1. Esquema Metodológico del Proyecto



Fuente: Autores.

3. GENERALIDADES

En este capítulo se enmarcará los aspectos generales del área en donde se realiza el estudio, indicándonos ciertas características de éste, las cuales son de gran importancia para el proyecto, se describen aspectos como la ubicación, clima y tectónica del área delimitada.

3.1 LOCALIZACION GEOGRAFICA DEL AREA DEL PROYECTO

El área de estudio se encuentra ubicada al oeste del municipio de Los Santos en el departamento de Santander, con un área total de 240 Km² que limita con los municipios de Jordán, Zapatoca y Cepitá, enmarcada dentro de las coordenadas geográficas mostradas a continuación:

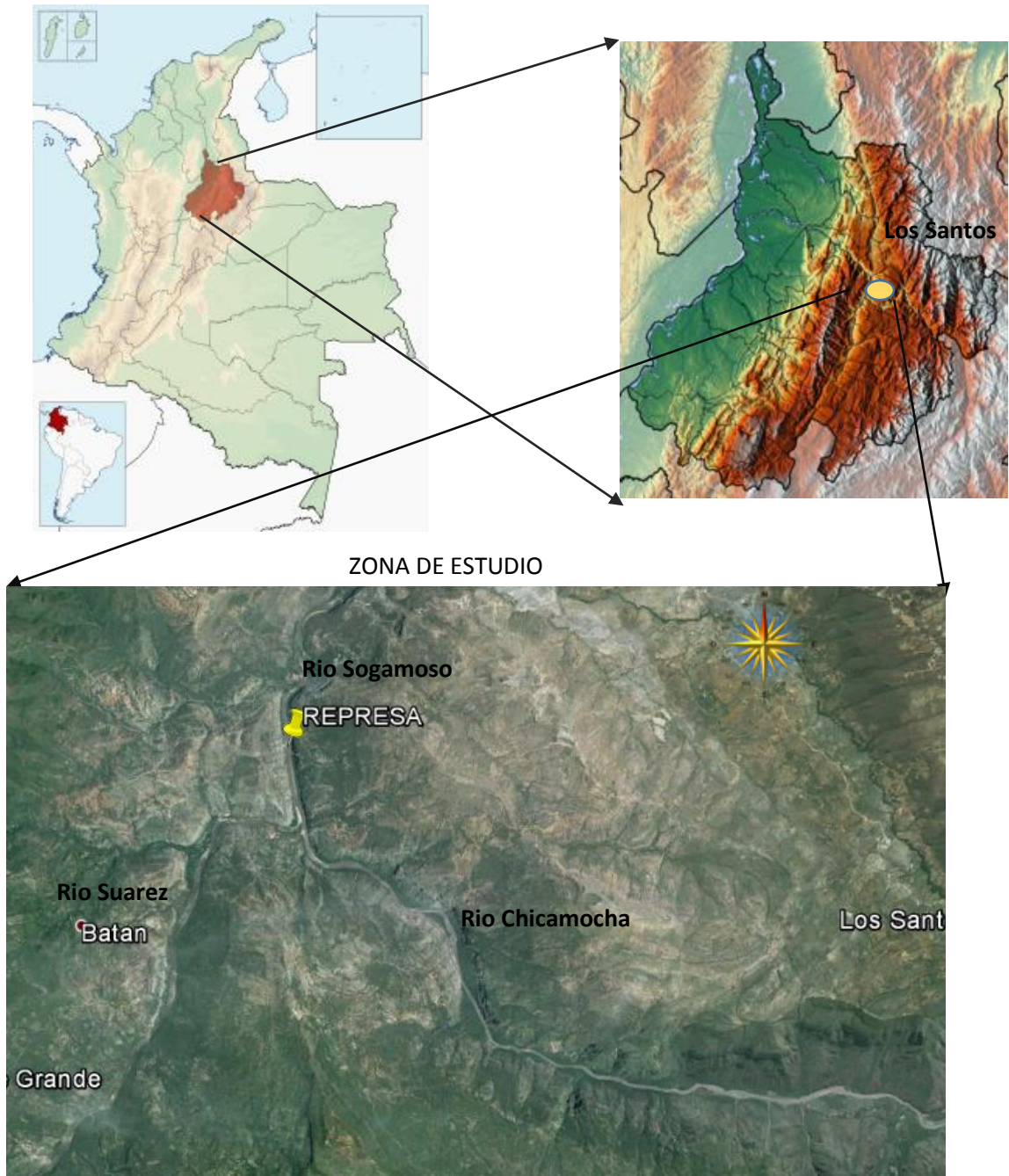
Tabla 1 Coordenadas del Área de Estudio

PUNTO	ESTE	NORTE
1	1 090 000	1 230 000
2	1 090 000	1 246 000
3	1 105 000	1 246 000
4	1 105 000	1 230 000

Fuente: Autores.

Cabe resaltar que el municipio de Los Santos forma parte de la provincia de Soto y se halla ubicado al oriente del departamento de Santander; la Cabecera municipal se encuentra localizada geográficamente a 6°45' latitud norte y 73°06' de longitud al oeste con respecto al meridiano de Greenwich y localizado a 62 Km de la ciudad de Bucaramanga.

Imagen 2. Localización Geográfica del Área de Estudio



Fuente: Google Earth, Los santos Santander

3.2 ASPECTOS GEOGRAFICOS Y GEOMORFOLOGICOS

El área de estudio se encuentra ubicado en un sitio montañoso, agreste y rocoso con pendientes fuertes ($>40^\circ$) especialmente en los farallones y laderas del cañón que presenta una erosión crítica.

Estos rasgos geomorfológicos son característicos de las formaciones rocosas presentes en el área como lo son la Formación Girón, Formación Rosa Blanca y la Formación Tambor; La forma del relieve varía entre quebrado a escarpado.

3.2.1 Morfometría

Es la rama de la geomorfología que describe cuantitativamente algunas características del terreno como longitud, altura de las laderas e inclinación de pendientes¹.

Para la elaboración del mapa de pendientes se utilizó una base topográfica escala 1:25.000 del IGAC y un modelo digital de elevación (DEM), utilizando herramientas de análisis espacial (slope) y reclasificación (Reclassify) mediante el software ArcGis 10.2, está basada en la clasificación según Van Zuidam del servicio geológico colombiano.

Tabla 2. Clasificación de pendientes según Van Zuidam

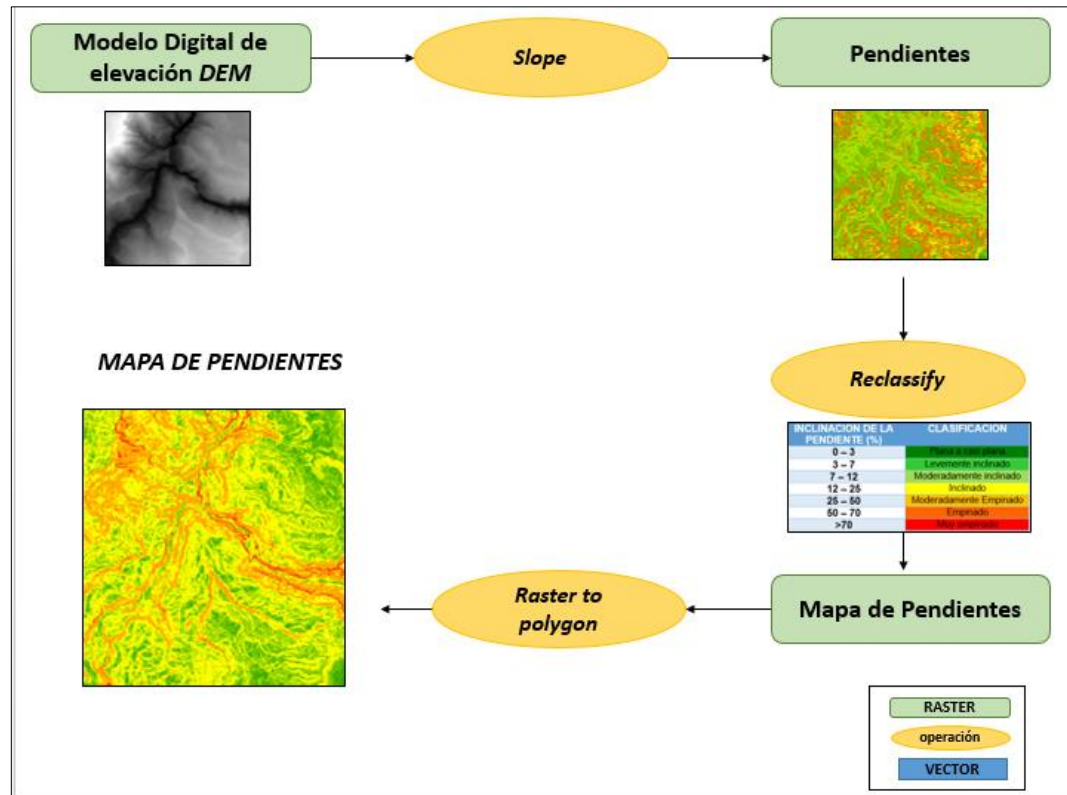
INCLINACION DE LA PENDIENTE ($^\circ$)	INCLINACION DE LA PENDIENTE (%)	CLASIFICACION
0 - 1.72	0 – 3	Plana a casi plana
1.72 - 4.1	3 – 7	Levemente inclinado
4.1 - 6.8	7 – 12	Moderadamente inclinado
6.8 - 14.1	12 – 25	Inclinado
14.1 - 26.5	25 – 50	Moderadamente Empinado
26.5 - 35	50 – 70	Empinado
>35	>70	Muy empinado

Fuente: Servicio Geológico Colombiano

¹ ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL MUNICIPIO DE LOS SANTOS – SANTANDER

Se ilustra en el siguiente modelo conceptual el procesamiento del mapa.

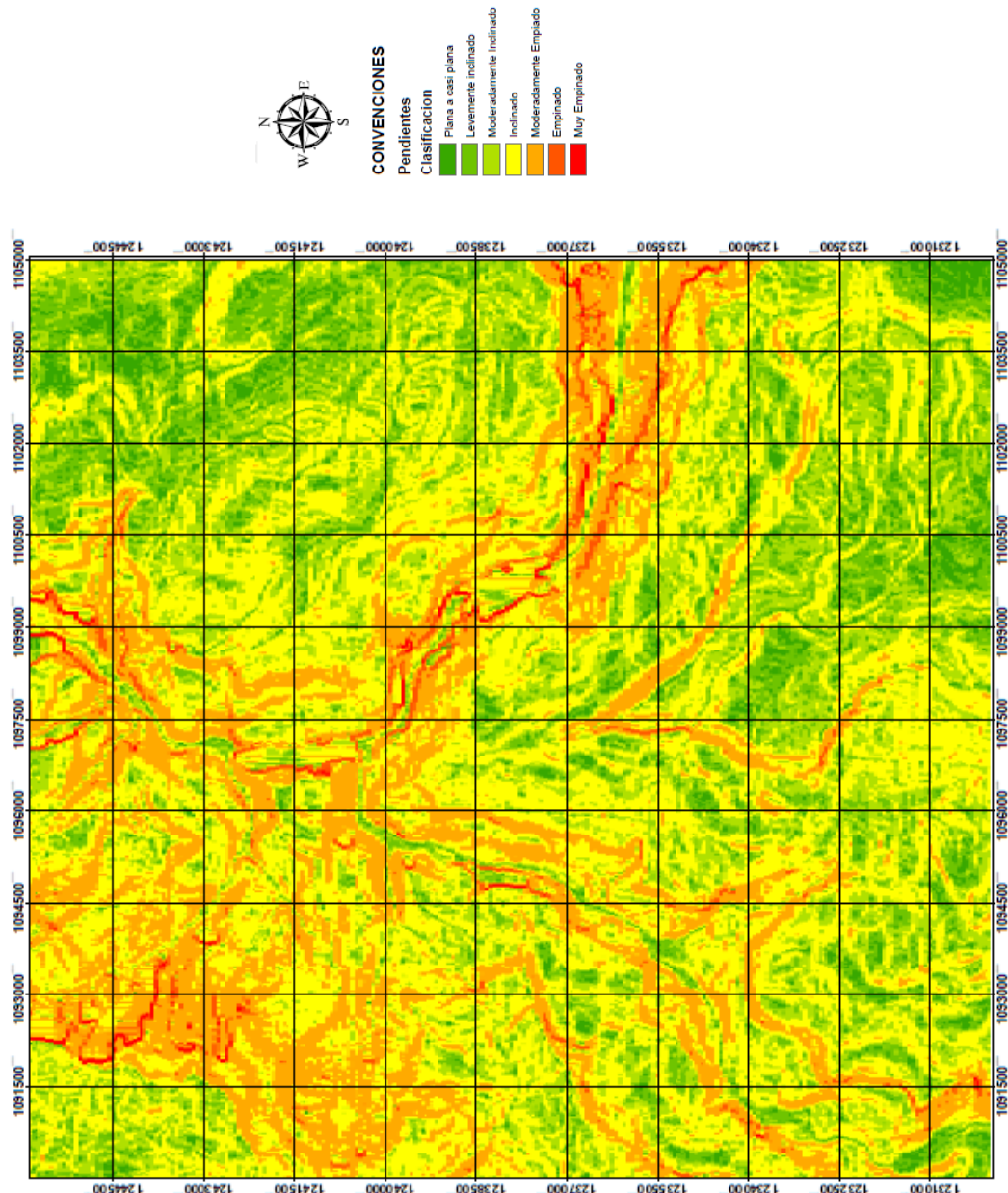
Imagen 3. Flujo de Modelamiento para obtener Mapa de Pendientes



Fuente: Autores

De acuerdo a la clasificación de pendientes en la zona de estudio se estableció que para las Formaciones Jordán, Girón y Tambor, presenta un rango de pendientes moderadamente empinado a empinado entre (50%-70%), cuya litología se caracteriza por la presencia de areniscas conglomeráticas y cuarzosas, aflorantes en la riberas de Río Suárez y Chicamocha, la Formación Rosa Blanca presenta un rango de pendiente inclinada entre (12%- 25%) con litología de calizas grises fosilíferas. Al contrario las Formaciones Paja, Tablazo y Simiti presentan un rango de pendientes entre levemente inclinado a moderadamente inclinado entre (3%-12%). Los depósitos cuaternarios aluviales corresponden a pendientes planas a casi plana (0° -3°).

Imagen 4. Mapa del rango de pendientes en la zona de estudio.

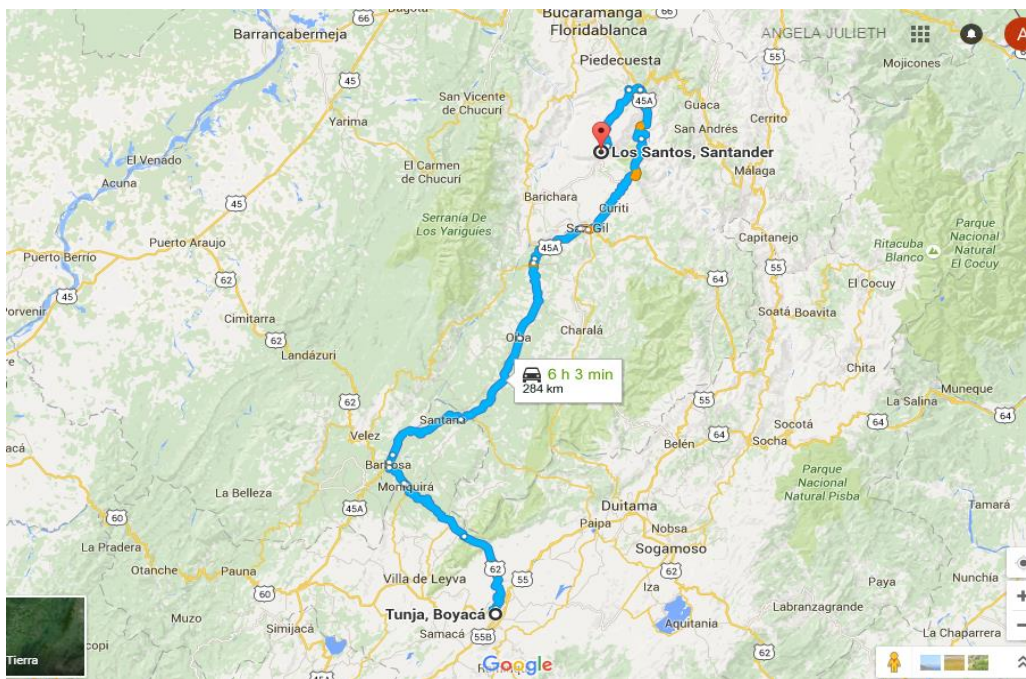


Fuente: Autores

3.3 VIAS DE ACCESO

A la zona de estudio se puede ingresar por la carretera Sogamoso-Duitama-Tunja y tomando la vía que conduce hacia el municipio de San Gil pasando por los municipios de Barbosa, Santana y el Socorro. Siguiendo la carretera hacia el municipio de Curiti hasta llegar a Aratoca y desviar por carreteras secundarias en algunos tramos destapadas hasta el municipio de Jordan, por donde se puede ingresar al área.

Imagen 5. Vías de Acceso al área de Estudio



Fuente: Google Maps, Colombia Santander

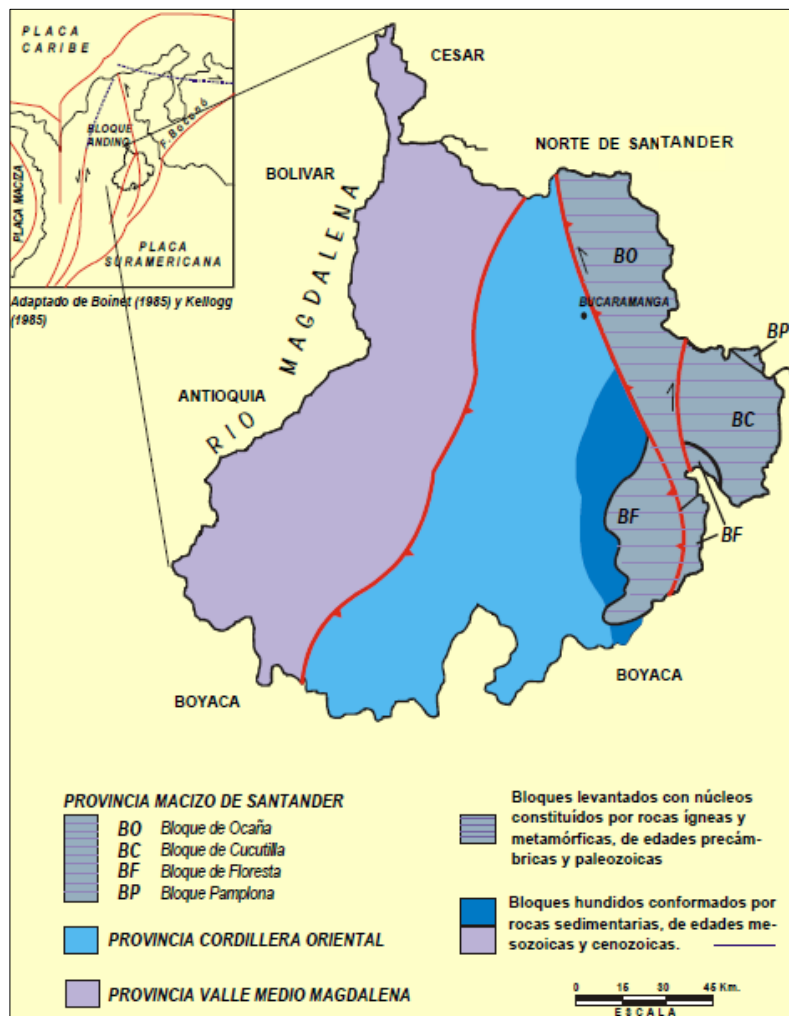
3.4 CLIMA Y VEGETACION

El área que corresponde a los valles de los Ríos Chicamocha y la sección , Suárez y Sogamoso presenta un microclima que se caracteriza por sus condiciones de aridez, con temperaturas entre 17 °C y 30 °C, y una humedad relativa del 75% al 85%, con alturas que oscilan entre 300 m.s.n.m. a 1900 m.s.n.m., con un clima cálido. Existe en el margen del Rio Chicamocha una vegetación de bosque seco basal tropical entre los 0 y 1.000 m.s.n.m., al igual se presenta la vegetación con porte arbóreo, arbustivo y herbáceo por ser las formas de mayor representatividad en el nivel florístico y de importancia en el aporte a la cobertura del suelo.

3.5 TECTONICA

El nororiente colombiano es un territorio geológicamente complejo y tectónicamente dinámico; su conformación está relacionada con la interacción de las placas tectónicas Nazca, Caribe y Suramérica. Por encontrarse dentro de este dominio, el área de Santander despierta gran interés y genera discusiones sobre su origen y su conformación geológica. Según el Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia, el territorio del Departamento de Santander forma parte del —supraterreno de la cordillera oriental y la provincia tectónica del valle medio del Magdalena (Payandé), Floresta y de Santander.

Imagen 6. Esquema Tectónico del Departamento de Santander

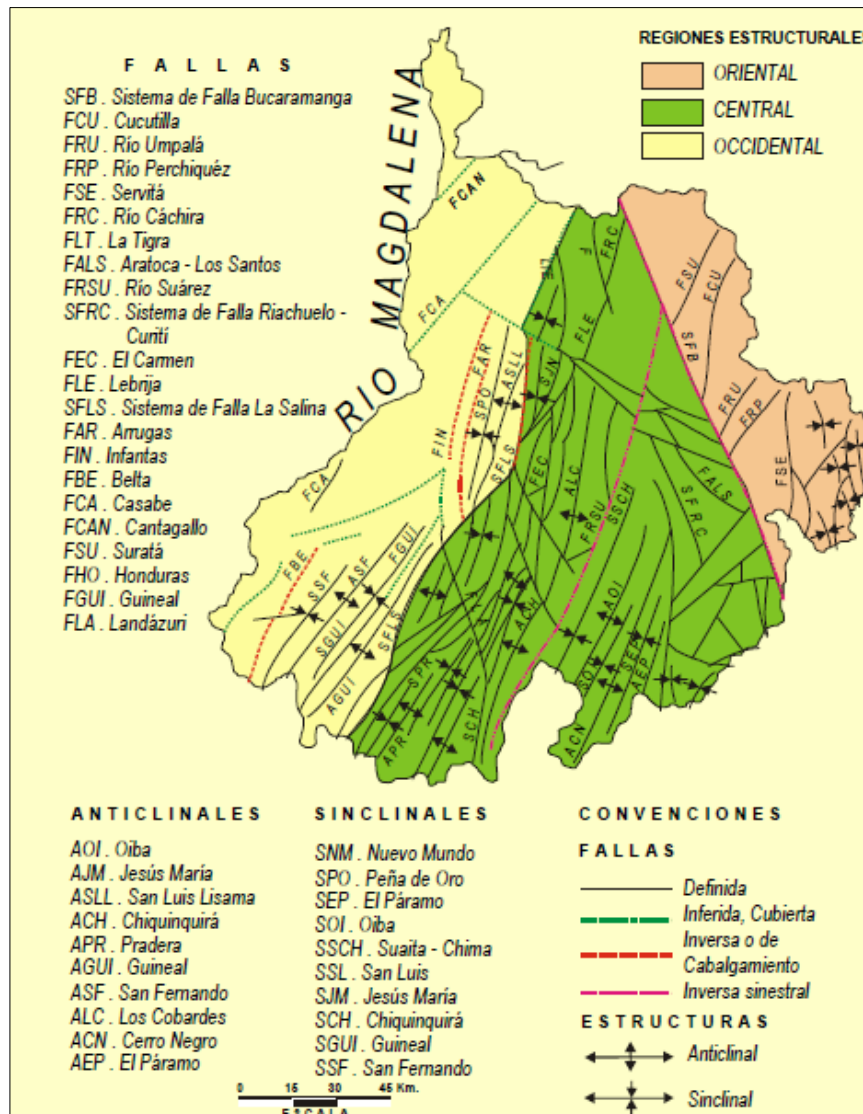


Fuente: ROYERO M. y CLAVIJO. 2001. Geología Generalizada Departamento de Santander

3.5.1 Fallas Plegamientos Regionales

En esta región del Macizo de Santander, predomina un sistema de fallamiento en bloques, de rumbo Norte-Sur a Noreste y un sector de pliegues anticlinales y sinclinales estrechos, ubicados en el extremo más oriental del departamento. Se destacan principalmente de noroccidente a suroriente la falla de Bucaramanga – Santa Marta y una falla menor denominada falla Aratoca los Santos.

Imagen 7. Fallas y Plegamientos en el Departamento de Santander



Fuente: ROYERO M. y CLAVIJO. 2001. Geología Generalizada Departamento de Santander

3.5.1.1 Falla de Bucaramanga-Santa Marta.

Es el rasgo estructural más evidente y de gran extensión que cruza la región centro-oriental del Departamento de Santander, en dirección aproximada N20°W, extendiéndose desde el sur de Soápage (Boyacá) hasta la costa Atlántica en la ciudad de Santa Marta, cruza por el borde oriental de la ciudad de Bucaramanga, sirviendo de límite entre el macizo de Santander y los depósitos de abanicos aluviales. Esta falla es considerada un sistema de fallas de rumbo con movimiento sinistral el cual ocurrió a partir del Mioceno Superior, simultáneamente con la Orogenia Andina, cuyo desplazamiento es calculado en unos 100 a 110 km; tiene una componente vertical importante, que hace que esta falla se comporte en algunos sectores como inversa y en su extremo meridional aún de cabalgamiento.²

La historia geológica de la Falla de Bucaramanga – Santa Marta es muy compleja, se establece que es posterior al neis de Bucaramanga, y que durante el cretácico inferior hasta el paleoceno no hubo actividad tectónica de la falla, tuvo la mayor actividad en el mioceno superior, simultáneamente con la orogenia andina.³

3.5.1.2 Falla Los Santos-Aratoca.

Corresponde a dos fallas de dirección general Noroeste. La primera (los Santos) atraviesa el área de la mesa de los santos, alineando el patrón de drenaje principal que es la quebrada Los Santos; la otra falla la de Aratoca evidencia ser la continuación de la anterior, probablemente desplazada por otras fallas de dirección perpendicular a ella en la zona del río Chicamocha. La de Aratoca es una falla inversa de alto ángulo que levanta el bloque oriental donde se ubica la formación Silgará y la pone en contacto con las rocas de la formación Jordán y Girón. El desplazamiento vertical de esta estructura no se ha calculado pero puede superar los 100 m.

²DIAGNÓSTICO DIMENSIÓN BIOFÍSICO AMBIENTAL TERRITORIAL DE SANTANDER, Secretaria de Planeación, Universidad Industrial de Santander. Capítulo 2. Pag 22

³ ROYERO M. y CLAVIJO. 2001. Geología Generalizada Departamento de Santander. Pag 50

3.5.2 Fallas y Plegamientos Área de Estudio.

En el área de estudio se evidencia una falla definida la cual corresponde a la falla Suarez; la cual se encuentra hacia el municipio de Zapatoca y la falla de los Santos; la cual se evidencia hacia el noroccidente de área de estudio. Estas dos fallas están a una distancia de 4 Km y 8 Km respectivamente de la ubicación de la represa, a pesar de estar a una distancia considerable la cual no implicaría mayor afectación al momento de su construcción, es importante tener en cuenta éstas y las fallas inferidas presentes ya que esta área se encuentra en un terreno donde se registra alta susceptibilidad sísmica.

Estas fallas fueron referenciadas en el mapa geológico, y descritos de la siguiente manera:

3.5.2.1 Falla Los Santos

Falla inferida que atraviesa la masa de los santos, sigue la trayectoria de la quebrada de los santos con dirección noroeste. Es una falla inversa de bajo ángulo, con dirección NW-SE y un buzamiento aproximado de 25° al este convergencia occidental; controla el cauce de la quebrada la Santera y enfrenta las areniscas de la formación los Santos en el bloque este con los niveles calcáreos y arenosos de la formación Rosa Blanca en el bloque oeste. Constituye una prolongación de la falla de Aratoca.

3.5.2.2 Falla del Suárez

Accidente estructural importante que se orienta en forma paralela al cauce del río Suárez hacia su margen izquierda con una dirección aproximada norte-sur. Se extiende con una longitud de unos 120 Km desde Barbosa al sur hasta la Falla de Bucaramanga, tiene una dirección N20°E con buzamiento 69°W. Es una falla inversa con una componente vertical y con desplazamiento sinistral, el desplazamiento vertical se ha calculado entre los 400 y 2300 m.

La falla del Suárez, al occidente del municipio de Girón afecta capas de la formación Girón, las cuales se pliegan por arrastre, alcanzando posiciones verticales y en algunos casos, invertidas. En cercanías de la falla se observa un fuerte fracturamiento y un alto grado de meteorización de las rocas hasta el punto de llegar a confundirse con depósitos cuaternarios. A lo largo de su trayecto esta falla afecta rocas jurásicas y cretácicas, principalmente de las formaciones Jordán, Girón, Los Santos (Tambor), Rosa Blanca y Paja.⁴

⁴ Ibid., P.52

4. GEOLOGIA

El área de estudio corresponde a la subregión que se ubica en la zona de Mesas y Mesetas del bloque central de la Cordillera Oriental, donde encontramos una geología compleja con litología que comprende rocas sedimentarias clásticas y carbonatadas entre ellas encontramos (areniscas, limolitas, calizas, lutitas, arcillolitas, conglomerados), cuya historia geológica se remonta desde la edad de precámbrico hasta depósitos recientes de diferente origen.

En la zona se encuentra presente como litología principal rocas sedimentarias con edades Jurasico-Cretaceo, se encuentran rocas sedimentarias Jurásicas como la Formación Jordán y Girón y rocas cretácicas en las formaciones Tambor, Rosa Blanca, Paja, Tablazo y Simiti.

En el área de estudio el Sistema Jurásico representado por las formaciones Jordan, Giron y el Sistema Cretaceo dentro del cual se encuentran las Formaciones Tambor, Rosa Blanca, Paja, Tablazo y Simití. En los Cuaternarios encontramos de tipo Coluvial y Diluvial. Estas rocas se ven afectado por movimientos tectónicos y conforman terrenos montañosos, colinados y planos.

Se determinó una geología regional con base a la planchas geológicas 120 y 135 Santander a escala: 1:100.000 del Servicio Geológico Colombiano y a partir de información obtenida en visita de campo, y por medio del software ArcGis y la base topográfica, se digitalizaron los polígonos correspondientes de las formaciones encontradas y se generó el mapa geológico a escala 1: 25.000 del sector de estudio. Ver imagen 8.

4.1 ESTRATIGRAFIA

A continuación se describen las características generales de las unidades geológicas que afloran en el área de estudio, según la descripción realizadas en campo y de la memoria explicativa de las planchas Geológicas 120 y 135 de Santander, del Servicio Geológico Colombiano, en orden cronológico desde las más antiguas (Jurásico) hasta las más recientes (Depósitos cuaternarios).

4.2.1 Sistema Jurásico

Este sistema está representado esencialmente por rocas sedimentarias constituyendo de base a techo las Formaciones Jordán y Girón.

4.2.1.1 Formación Jordán (JI)

Esta unidad tiene su localidad tipo en la pendiente norte del Cañón del Chicamocha a un kilómetro al occidente de la cabecera municipal de Jordán. Se

reconocen dos conjuntos litológicos divididos por una zona de transición de 10 metros de espesor. El conjunto superior es de 200 metros de espesor y el conjunto inferior de 100 metros y está compuesto por areniscas de grano grueso, con estratificación cruzada de color gris verdoso, se encuentran intercalaciones de limolitas color marrón rojizo y conglomerados cuarzosos. Esta formación se considera de edad Jurásico Inferior y medio.⁵

En la zona de estudio se encuentra aflorando el conjunto superior de la Formación Jodan, donde se logra observar areniscas de grano fino estratificado y limolitas de color marrón rojizo, hacia la zona la parte occidental del Rio Chicamocha, en contacto con la formación Girón.

4.2.1.2 Formación Girón (JG)

Esta formación se encuentra aflorando en el municipio de Jordán, en una secuencia delgada en el cañón del Chicamocha y hacia el norte cerca al municipio de Zapatoca en donde se encuentra Rio Sogamoso, caracterizado por tener una litología de arenisca de grano medio y ligeramente conglomerático color rojizo con estratificación cruzada, presenta capas delgadas de limolitas de color rojo violáceo.

El ambiente de sedimentación es continental, lacustre fluvial. Esta se encuentra en discontinuidad estratigráfica sobre la formación Jordán e infrayace concordante a la formación Tambor, para la Formación Girón se estableció una edad Jurásico Superior-Cretácico Inferior.

Fotografía 1. Panorámica de la Formación Girón en contacto con Formación Tambor. Cañón del Rio Chicamocha



Fuente: Autores

⁵ ROYERO M. CLAVIJO J. Geología Generalizada Departamento de Santander, Bogotá D.C 2001

Fotografía 2. Panorámica de la Formación Girón, en el Cañón del Rio Sogamoso.



Fuente: Autores

4.2.2 Sistema Cretáceo

El Cretáceo está representado por rocas sedimentarias y comprende las formaciones Tambor, Rosa Blanca, Paja (con un miembro arenoso inferior), Tablazo y Simití, correspondientes a la nomenclatura empleada en Santander.

4.2.2.1 Formación Tambor (Kita)

Litológicamente la Formación Tambor se ha descrito como un conjunto de areniscas de grano fino a medio de color rojizo, con capas delgadas de limolitas rojas y verdes con estratificación cruzada. El contacto inferior de esta unidad es una discontinuidad estratigráfica con la formación Girón.

La formación Tambor es considerada de edad, la naturaleza terrígena de los sedimentos y el tipo de estratificación permiten deducir un ambiente de depósito continental. ⁶

⁶ Ibid., P. 48

En el área de estudio se puede observar esta formación hacia el norte donde forma parte del cañón cercano al Rio Sogamoso.

Fotografía 3. Afloramiento de la Formación Tambor, Areniscas amarilla rojiza de grano fino, expuesta en el Rio Sogamoso



Fuente: Autores

Fotografía 4. Panorámica de Formación Tambor, Cañón de Rio Sogamoso



Fuente: Autores

Fotografía 5. Panorámico de la Formación Tambor en Contacto con la Formación Rosa Blanca



Fuente: Autores

4.2.2.2 Formación Rosa Blanca (Kir)

Esta formación se encuentra expuesta en El Cañón de Rio Sogamoso y el Rio Suarez, compuesta por una sucesión calizas macizas grises azulosas y un amplia franja de yeso, el cual está siendo extraído en el sector, presenta contenido de fósiles principalmente por bivalvos, equinodermos, gastrópodos, foraminíferos y amonitas. En la parte superior consta de areniscas y lodolitas calcáreas. El ambiente de depósito es marino somero en condiciones neríticas, el espesor varia de 150 a 425 m. La edad ha sido discutida ampliamente y se considera como del Valanginiano superior al Hauteriviano inferior.

Fotografía 6. Mina de extracción de yeso, perteneciente a la Formación Rosa Blanca



Fuente. Autores

Fotografía 7. Panorámica de Cañón del Chicamocha, se observa el contacto de las Formaciones Tambor y Rosa Blanca



Fuente: Autores

4.2.2.3 Formación Paja (Kip)

Corresponde a una sucesión de shales gris oscuro, fosilíferos y calcáreos y micáceos, con intercalaciones de arenisca gris amarillenta de grano fino, también intercalaciones de calizas grises, con nódulos calcáreos generalmente piritosos, venas de calcita y láminas de yeso. Se estima que su depósito tuvo lugar en un ambiente epicontinental.

El límite estratigráfico de esta unidad es concordante con la Formación Tablazo, la edad ha sido determinada del Barremiano Inferior al Aptiano Inferior.

Fotografía 8. Vista panorámica de la Formación Paja en contacto con la Formación Rosa Blanca



Fuente: Autores

4.2.2.4 Formación Tablazo (Kit) (San Gil Inferior)

Esta formación presenta una litología de calizas duras, cristalinas en la parte superior y calizas arcillosas en la parte inferior, tiene una alternancia de caliza gris azulosa cristalina, parte fosilífera y arenisca gris oscura de estratificación delgada, esta unidad esta concordante con la Formación Paja y la Infrayace la formación Simití, la edad se considera del Aptiano Superior- Albiano Inferior. Esta formación solo aflora la parte inferior, sobre los escarpes de la Formación Paja de forma alargada.

4.2.2.5 Formación Simití (Kis) (San Gil Superior)

Es una sucesión de shales grises a negros carbonosos, levemente calcáreos y con intercalaciones de areniscas y calizas grises, localmente arcillosas y fosilíferas en capas delgadas, formando superficies suavemente onduladas. Las condiciones paleoambientales fueron neríticas de agua intermedias profundas. Su espesor varía entre 250 y 650 m. El contacto de la formación Simití es concordante con la formación tablazo, su edad se ha establecido como Albiano superior - Cenomaniano.⁷

4.2.3 CUATERNARIOS

Se presentan depósitos de origen aluvial y coluvial, ubicándose principalmente al margen del río Chicamocha y el río Suarez, y en cercanías a las veredas El Espinal y Villanueva.

4.2.3.1 Aluvión

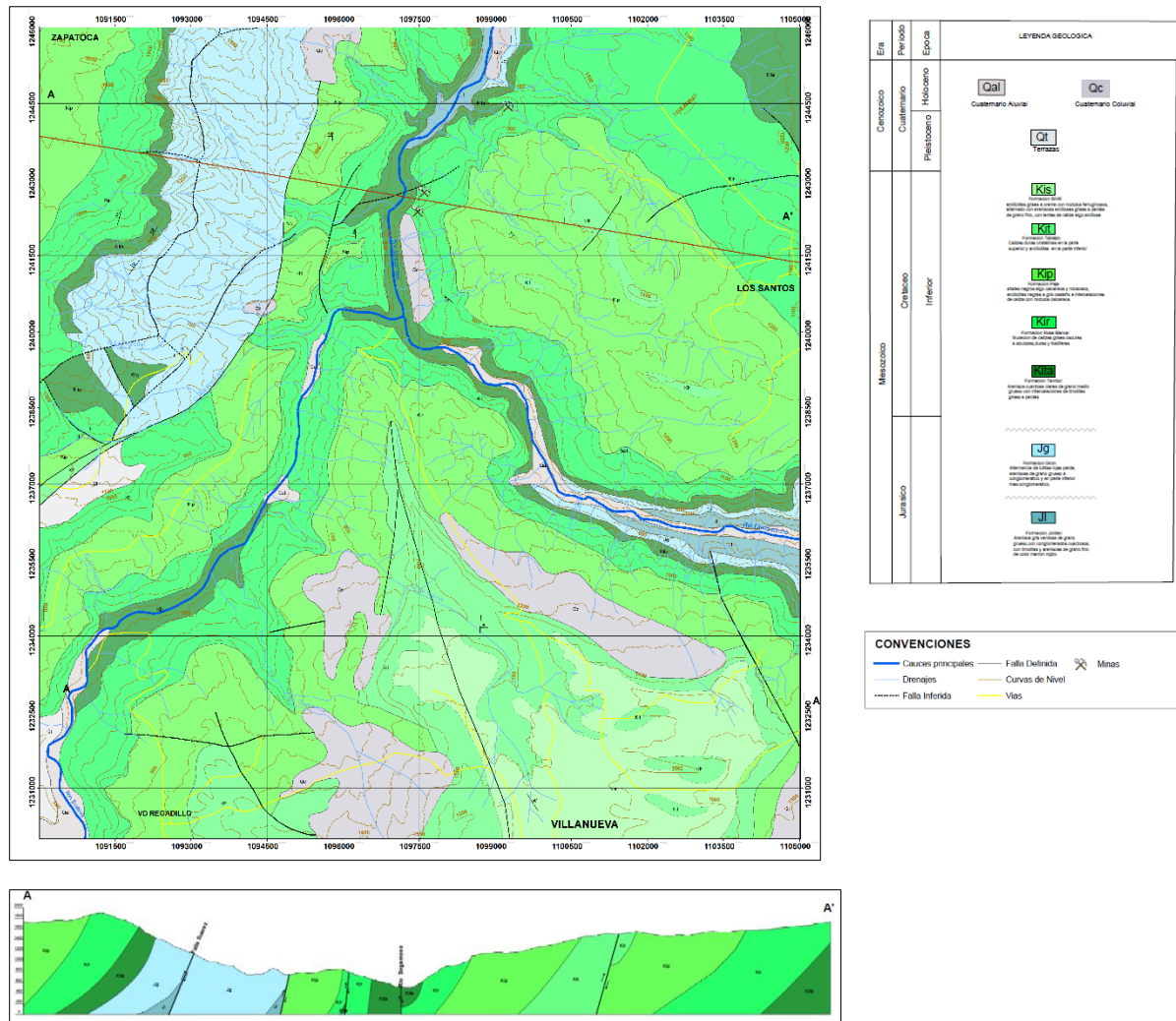
Son materiales heterogéneos arrastrados y depositados por el agua, llegando a desarrollar diferentes niveles de terraza. Se encuentran observables a lo largo de los principales drenajes de agua, como son el Río Chicamocha y El Río Suarez al oeste del municipio de los santos, su tamaño varía desde la arcilla hasta las gravas gruesas, cantos y bloques. Sus propiedades están estrechamente relacionadas con la granulometría.

4.2.3.2 Coluvión

Definidos como depósitos de materiales sueltos producidos por movimientos superficiales del terreno y en los que el suelo se desplaza junto con bloques de roca y se depositan en pequeñas depresiones o cambios en la inclinación de las pendientes, sus espesores son menores de 10 metros y enmascaran la litología de las formaciones subyacentes en este caso de las formaciones Paja y Tablazo, formado por fragmentos angulares y heterométricos generalmente de tamaño grueso englobados en una matriz limoarcillosa.

⁷ Ibid., P. 50

Imagen 8. Mapa Geológico de La Zona de Estudio



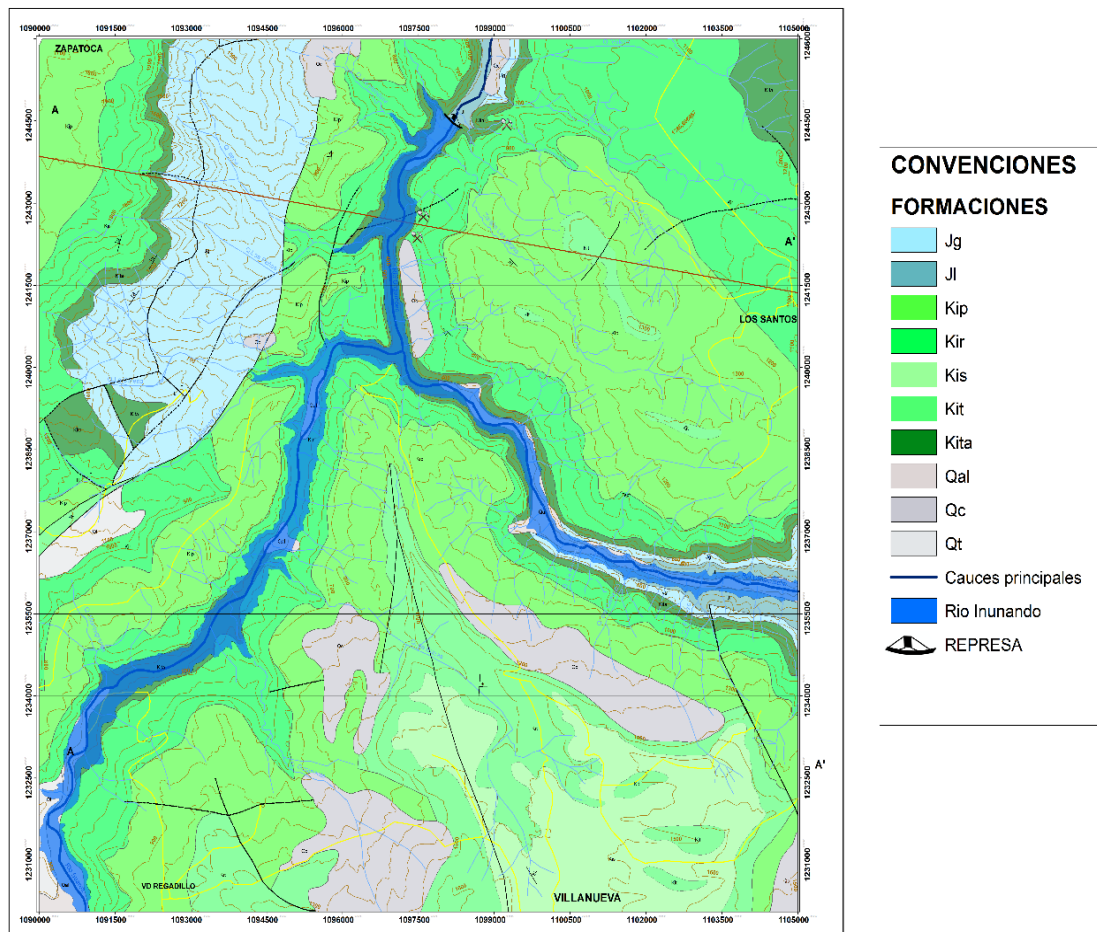
Fuente: Autores

En la imagen 9, se logra observar la ubicación de la represa e inundación de los tramos de los ríos, la cual se estableció hasta una cota de 450 m, en donde se encuentran secciones de las formaciones Jordán, Girón, Tambor y Rosa Blanca. Teniendo en cuenta las litologías de estas formaciones se podría inferir que al estar en contacto con el agua, en las formaciones con contenido arenoso como son las formaciones Jordán, Girón y Tambor se podrían presentar microfisuras por presentar cierto grado de porosidad y licuefacción, aunque este parámetro está ligado al grado de saturación y densidad relativa que presenten. En cuanto al contenido de limolita y arcillas podrían presentar mayor grado de impermeabilidad siendo útil al proyecto, no obstante en algunos casos de encontrarse capas muy

delgadas podrían generar algún movimiento, en la formación Rosa Blanca por presentar litología de calizas tiene menor permeabilidad, ésta se puede reducir al presentarse fracturación y disolución, se incrementara por la presencia de capas de yeso, aunque presentan una permeabilidad baja es más susceptible a la disolución, respecto a los depósitos aluviales que estarán inundados, se debe tener cuidado ya que por presentar material heterogéneo y fino posee mayor porosidad y podría generarse colapso o deslizamiento.

Este mapa se realizó teniendo como base el mapa geológico 1:25.000, en donde se procedió a digitalización del polígono correspondiente a la inundación, hasta la cota 450 m en programa de ArcGis 10.2

Imagen 9. Mapa Geológico con Inundación de cada uno de los Ríos



Fuente: Autores

5. COBERTURA VEGETAL

La cobertura se define como, los diferentes rasgos que cubren la tierra, tales como agua, bosque, otros tipos de vegetación, rocas desnudas o arenas, estructuras hechas por el hombre, etc. En general estos son los rasgos que pueden ser directamente observados en las fotografías aéreas y frecuentemente en las imágenes de satélite.⁸

El mapa de cobertura vegetal se realizó con base en la adaptación de la metodología de corine Land Cover, utilizada en Colombia y procesando imagen satelital con tamaño de pixel de 24 Km⁴, obtenida por medio del programa Sas.Planet (software que permite la descarga de imágenes satelitales de alta resolución), por medio del software ArcGis 10.2 se delimitaron cada uno de los polígonos pertenecientes a las coberturas encontradas en el área de estudio por medio de la interpretación visual de la imagen, generando la tabla de atributos para cada cobertura estimando de esta manera el área de cada una de ellas.

Imagen 10. Imagen Satelital utilizada Para La Realización de Mapa Cobertura

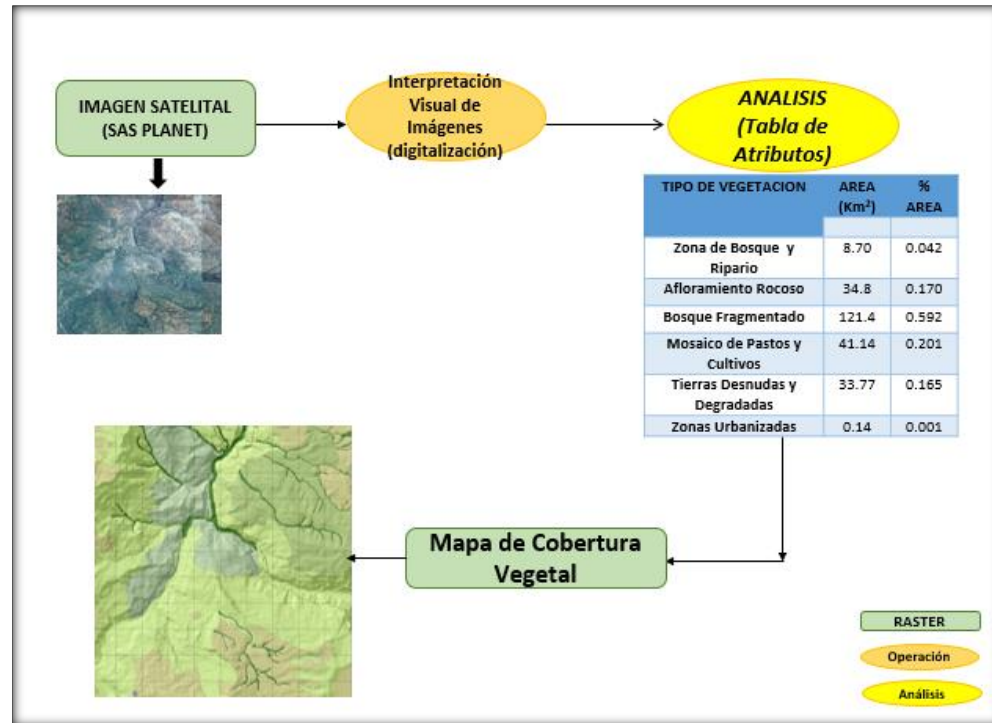


Fuente: Sas. Planet

⁸ ITC, Levantamiento ecológico y uso de la tierra, Bogotá 1990, p. 7.

A continuación se muestra el grafico del modelo conceptual del proceso para la generación del mapa de cobertura.

Imagen 11. Flujo de Modelamiento Imagen Satelital, Para Obtener Mapa de Cobertura Vegetal



Fuente: Autores

Como resultado del estudio y verificación en campo se determinaron las siguientes coberturas:

Afloramientos Rocosos

Son áreas en las cuales la superficie del terreno está constituida por capas de rocas expuestas, sin desarrollo de vegetación, generalmente dispuestas en laderas abruptas, formando escarpes y acantilados. Asociados con los afloramientos rocosos se pueden encontrar depósitos de sedimentos finos y gruesos, de bloques o de cenizas.⁹

En la zona de estudio se encuentran principalmente en la zona central y bordes de los ríos donde se presenta una alta pendiente, y evidentes afloramientos rocosos de las formaciones Rosa Blanca, Paja, Giron. Cubre un área total de 34.8 km² en la zona de estudio, equivalente a un porcentaje de 14.5 %.

⁹ IDEAM, 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Pag. 56

Bosque de Galería y Ripario

Se refiere a las coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. Este tipo de cobertura está limitada por su amplitud, ya que bordea los cursos de agua y los drenajes naturales. Cuando la presencia de estas franjas de bosques ocurre en regiones de sabanas se conoce como bosque de galería o cañadas, las otras franjas de bosque en cursos de agua de zonas andinas son conocidas como bosque ripario.

En la zona de estudio se identifican el bosque de galería y ripario en las riberas de las secciones de los ríos Chicamocha y Suarez y en los drenajes más predominantes de la zona, con un área total de 8.70 km²

Bosque Fragmentado

Comprende los territorios cubiertos por bosques naturales densos o abiertos cuya continuidad horizontal está afectada por la inclusión de otros tipos de coberturas como pasto, cultivos o vegetación en transición, las cuales deben representar entre 5% y 30% del área total de la unidad de bosque natural.¹⁰ Se identifica un bosque fragmentado en la mayor parte de la zona estudiada con una porcentaje de 51.8% comprendiendo un área de 121.4 Km², con fragmentos predominantes en cultivos y pastos.

Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales

Comprende las superficies del territorio ocupadas principalmente por coberturas de cultivos y pastos en combinación con espacios naturales. En esta unidad, el patrón de distribución de las coberturas no puede ser representado individualmente, como parcelas con tamaño mayor a 25 hectáreas. Las áreas de cultivos y pastos ocupan entre 17.14% de la superficie total de la unidad, corresponde a un área de 41.14 Km².

Tierras Desnudas y Degradadas

Esta cobertura corresponde a las superficies de terreno desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión y degradación extrema y/o condiciones climáticas extremas. Se localizan al noroeste del río Sogamoso se presentan una fuerte erosión y degradación de la cobertura exponiendo así un terreno

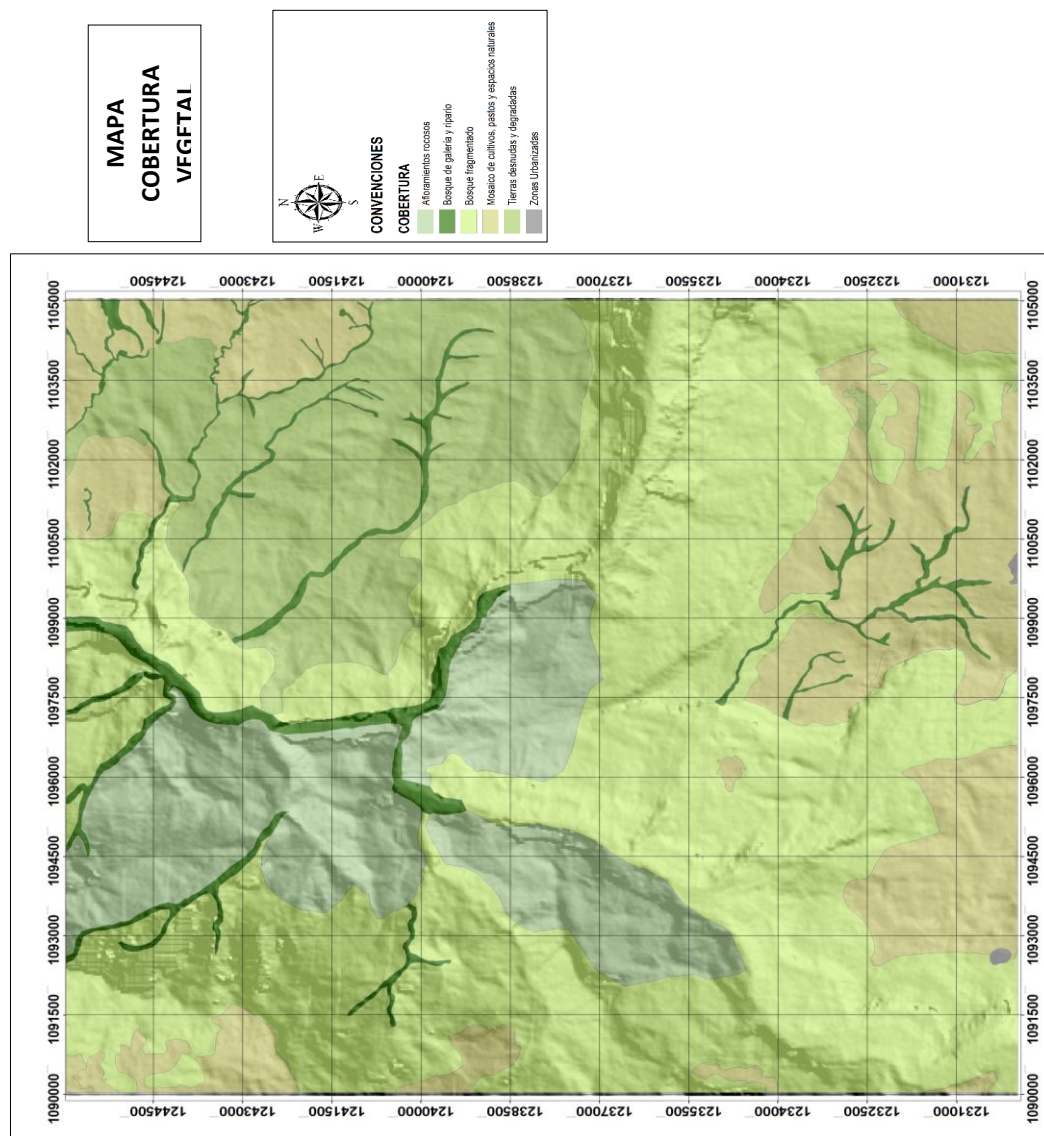
¹⁰ Idid., P. 45

descubierto perteneciente a un 7% de la zona de estudio, que corresponde a 17 Km².

Las zonas urbanizadas

Incluyen los territorios cubiertos por infraestructura urbana y todos aquellos espacios verdes y redes de comunicación asociados con ellas, que configuran un tejido urbano. En la zona de estudio se identifican la poblaciones de Guane y Villanueva comprendiendo un extensión de 0.14 Km²

Imagen 12. Cobertura Vegetal del Área de Estudio



Fuente: Autores

6. HIDROLOGÍA

La hidrología es la ciencia que estudia el agua desde el punto de vista de la geología, es decir, distribución, espacial y temporal, propiedades y circulación del agua una vez precipitada sobre la corteza terrestre y mientras se halla sobre estos, es decir antes de pasar al océano. Esto incluye las precipitaciones, evapotranspiración, escorrentía, infiltración, humedad en el suelo y temperatura, componentes del ciclo hidrológico.¹¹

Esta ciencia se ha desarrollado como respuesta a la necesidad de comprender el complejo sistema hídrico de la Tierra, establecer áreas vulnerables a los eventos hidrometeorológico, prever un correcto diseño de obras de infraestructura y ayudar a solucionar los problemas de agua.

Este análisis hidrológico se realiza sobre las cuencas de los Ríos Chicamocha-Sogamoso y Suarez dentro del área de estudio, para ello se empleó los datos meteorológicos de 13 estaciones con un registro de datos de 40 años, de los cuales se extrajo valores de precipitación, temperatura, humedad relativa y caudal, así se determina los parámetros del ciclo hidrológico y cálculo de balance hídrico.

Para cada una de las cuencas también se determinó los parámetros morfométricos o características físicas, ya que estas tienen una gran importancia en el comportamiento hidrológico de las cuencas. Dichas características físicas se clasifican en dos tipos según su impacto en el drenaje: las que condicionan el volumen de escurrimiento como el área y el tipo de suelo de la cuenca, y las que condicionan la velocidad de respuesta como el orden de corriente, la pendiente.

¹¹ ALMEDA A. y QUINTERO I. Introducción a la Hidrogeología, Capítulo 1, Pág. 5

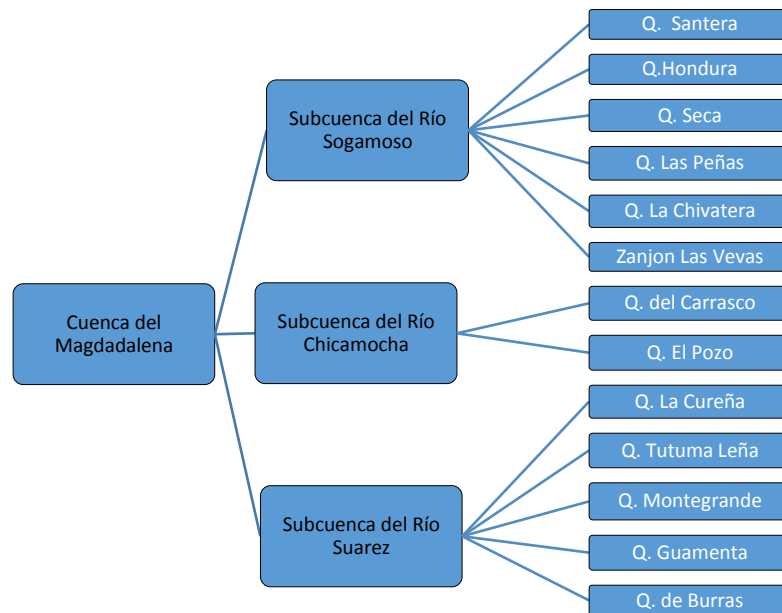
6.1. HIDROGRAFIA

Es importante resaltar que en el área de estudio se encuentran tramos del Río Suarez y Chicamocha que hacia el sector de Zapatoca toma el nombre de Río Sogamoso, y que conforman la red hidrográfica de la zona, los cuales pertenecen a la cuenca del Magdalena. La confluencia de los ríos Chicamocha y Suarez origina la sección del Río Sogamoso, en los límites de los municipios de Los Santos, Zapatoca y Villanueva, el Río Sogamoso surten al Río Magdalena.

El Río Chicamocha nace en la confluencia del Río Tuta, que nace en la población del mismo nombre, el Río Jordán que nace en el occidente de Tunja; satisface en buena parte las demandas de agua existentes sobre su trayectoria, recibe las aguas de ríos y quebradas de menor volumen.

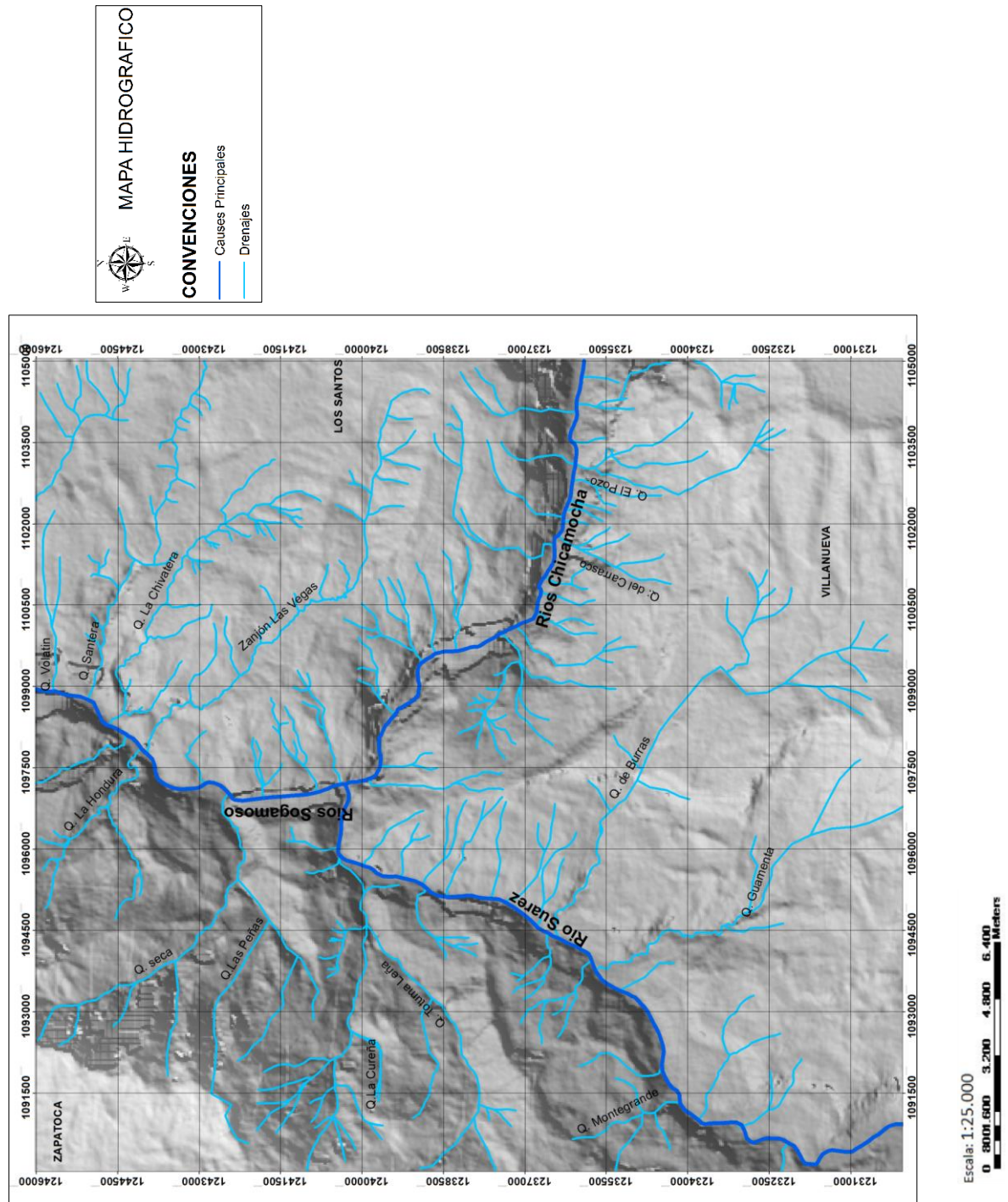
Mediante el software de ArcGis 10.2, y teniendo como base el modelo digital de elevación y de sombra se realizó una interpretación visual, se digitaliza cada uno de los ríos principales y sus drenajes más relevantes.

Figura 1. Esquema de Cuenas y Subcuenas



Fuente: Autores

Imagen 13. Mapa Hidrográfico del Área de Estudio



Fuente: Autores

6 .2 CUENCA HIDROGRAFICA

La cuenca es aquella unidad morfológica integral, en la cual el agua precipitada se transfiere a las partes topográficas bajas y convergen hacia un cauce o unidad natural, por medio del sistema de drenaje, concentrándose generalmente en un colector de descarga a otras cuencas aledañas, o finalmente al océano. La cuenca hidrológica junto con los acuíferos son las unidades fundamentales de la hidrología¹².

La delimitación de una cuenca hidrográfica por su divisoria de aguas, establece un sistema de drenaje (con un río y sus afluentes), por el cual la precipitación caída corre por su superficie, y se concentra en un punto de desembocadura del cauce, contemplando simplemente elementos físicos (topográficos) y biológicos. La subcuenca es la división de la cuenca que consta de áreas donde sus drenajes desembocan en el río principal de la cuenca.¹³

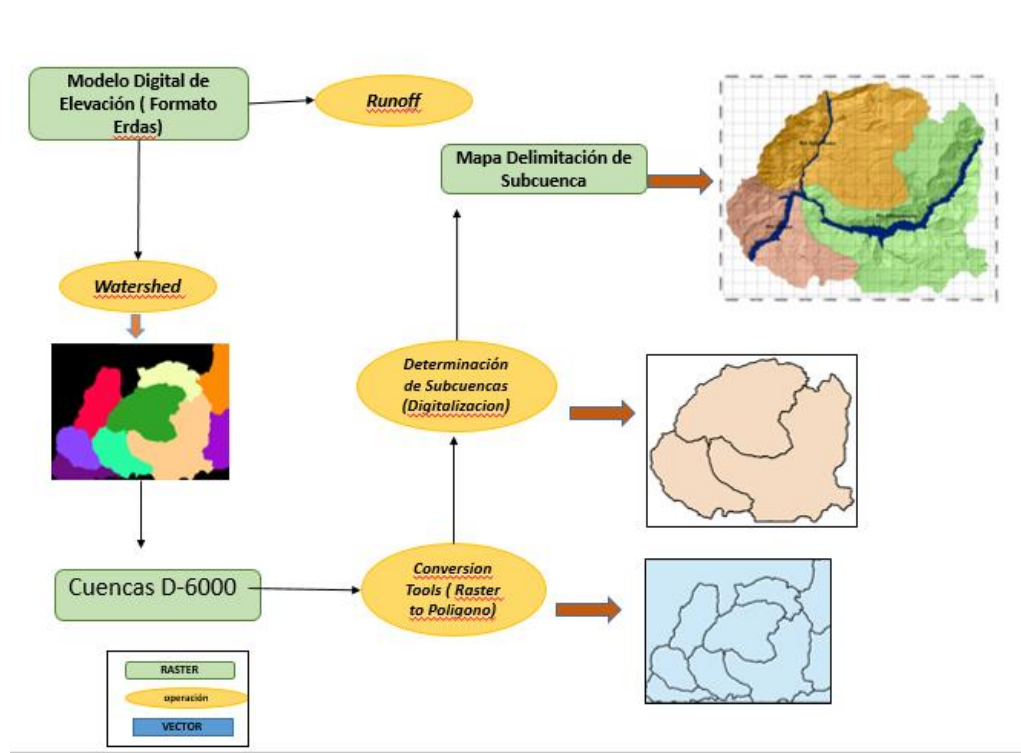
Para el desarrollo del proyecto se determinaron tres subcuencas ya que su área es mayor a los 100 Km², pertenecientes a los tramos de los ríos Chicamocha, Suarez y Sogamoso, delimitadas por las líneas de divorcio de las aguas, entendiéndose por línea de divorcio la cota o altura máxima que divide dos cuencas contigua, estas cuencas se establecieron de acuerdo a las estaciones meteorológicas cercanas, se tuvo en cuenta un área de proyección mayor debido a la forma de las cuencas, al igual que para determinar su comportamiento aguas arriba de cada uno de los ríos.

Para la delimitación de las subcuencas se realizó a partir del software Idrisi Selva utilizando el modelo de elevación (DEM), por medio de herramientas como Runoff la cual nos sirve para definir la red de drenaje, seguido utilizando el comando watershed en surface analysis, donde se definió el tamaño de la subcuencas en este caso de 6000 celdas, procedemos a transformar las subcuencas para el análisis; mediante herramienta (Raster to Polygono) en la caja de herramientas de ArcGis (conversión tools) a formato vector y así determinar, procesar y obtener el mapa de delimitación de subcuencas.

¹² BREÑA A. - JACOBO.M, Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial; Capítulos2, pag 23.

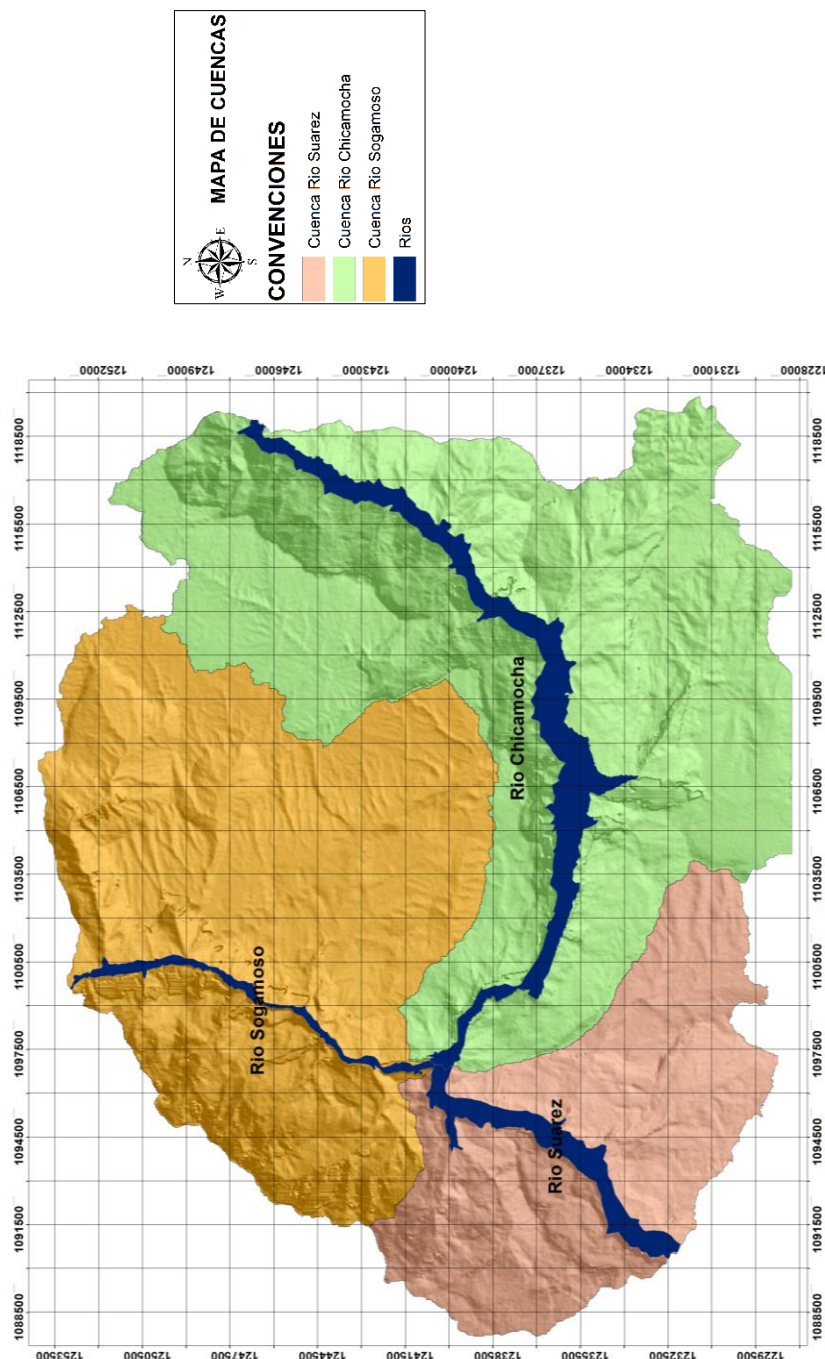
¹³ GASPARI F, RODRIGUEZ A, SENISTERRA G, DELGADO M. Elementos Metodológicos Para El Manejo De Cuencas Hidrográficas. Universidad Nacional De La Plata. 2013 Capitulo 1, Pag 6.

Imagen 14. Flujo de Modelamiento Para Obtener Mapa de Delimitación de Subcuencas



Fuente: Autores

Imagen 15. Mapa de delimitación de Cuencas



Fuente: Autores

6.2.1 Parámetros Físicos- Morfométricos de las Cuencas.

Es importante definir los parámetros morfométricos ya que este es un estudio cuantitativo de las características de una cuenca hidrográfica, y se utiliza para analizar la red de drenaje, las pendientes y forma de una cuenca a partir del cálculo de valores numéricos. La morfometría de cuencas resulta de gran utilidad ya que permite el estudio de la semejanza de los flujos de diferentes tamaños y órdenes. Y así interpretar los fenómenos que ocurren en esta. ¹⁴

Se determinaron parámetros como área, pendiente media, tiempo de concentración, forma, y compacidad los cuales son mostrados a continuación.

6.2.1.1 Área Total

El área de la cuenca está definido como la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio; este parámetro se expresa normalmente en Km².

El área total de la zona de estudio abarca un extenso tramo del Río Sogamoso, que hacia el municipio de Jordán toma el nombre de Río Chicamocha y el Río Suarez, los cuales se encuentran en los municipios de Zapatoca, la Fuente y Jordán. El área de cada una de las tres subcuencas delimitadas en el área de estudio se obtuvo automáticamente a partir de la digitalización de polígonos y mediante la creación de tablas de atributos para cada una de las subcuencas en el programa de ArcGis 10.2 teniendo como base el modelo digital de elevación (DEM)

A continuación se muestra las áreas de las cuencas analizadas en el área de estudio.

Tabla 3. Área de Subcuencas en la Zona

AREA DE SUBCUENCAS (Km²)		
Rio Sogamoso	Rio Chicamocha	Rio Suarez
215.4	286.3	116.6

Fuente: Autores

¹⁴ DELGADILLO A, y MORENO A. Morfometría De Cuencas, Venezuela. Capítulo 1. Pag 5

6.2.1.2 Perímetro

Es la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas. Éste parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en metros o kilómetros. Los perímetros de mayor valor corresponden con cuencas alargadas mientras que los de menor lo hacen con cuencas redondeadas.

Tabla 4. Valores de Perímetro de Subcuencas

PERIMETRO DE LAS SUBCUENCAS		
Río Sogamoso	Río Chicamocha	Río Suarez
94,38	129.1	70,57

Fuente: Autores

6.2.1.3 Cotas Máximas y Mínimas

Las cotas más altas inician desde 2.300 hasta los 300 m.s.n.m. Es el valor de la diferencia entre la cota más alta de la cuenca y la más baja ($DA=HM-Hm$). Se relaciona con la variabilidad climática y ecológica puesto que una cuenca con mayor cantidad de pisos altitudinales puede albergar más ecosistemas al presentarse variaciones importantes en su precipitación y temperatura. Como se muestra a continuación la mayor diferencia de alturas se registra en la subcuenca del Río Chicamocha, seguido de la subcuenca de Suarez.

Tabla 5. Cotas Máximas y Mínimas en la Zona de Estudio

COTAS MAXIMAS Y MINIMAS			
Microcuenca	Sogamoso	Suarez	Chicamocha
Máxima	1984	2064	2246
Mínima	294	455	455
DA	1690	1609	1791

Fuente: Autores

6.2.1.4 Factor de Forma de Horton

La forma de la cuenca interviene de manera importante en las características de descarga (hidrograma) de una determinada corriente, particularmente en los eventos de avenidas máximas, en particular, las cuencas de igual área pero de diferente forma, generan hidrogramas diferentes

La forma de la cuenca condiciona la velocidad del escurrimiento superficial. Para cuencas de igual superficie y formas diferentes se espera un comportamiento hidrológico también diferente. El factor de forma de Horton, es la relación entre el área y el cuadrado de la longitud axial de la cuenca, la cual se mide siguiendo el desarrollo longitudinal del cauce principal, hasta llegar a la divisoria de la cuenca en el punto más alejado, el escurrimiento resultante de una lluvia sobre una cuenca de forma alargada, no se concentra tan rápidamente, como en una cuenca de forma redonda; además, una cuenca con un factor de forma bajo (forma alargada) es menos propensa a tener crecientes intensas simultáneamente sobre toda su superficie, que un área de igual tamaño con un factor de forma mayor.¹⁵ Se determinó este parámetro a partir de la siguiente ecuación:

$$Hf = A/La^2$$

Dónde: A: Área de Subcuenca

La: Longitud Axial de la subcuenca

De acuerdo a los valores encontrados, las subcuencas analizadas presentar una forma según Horton, alargada. La subcuenca del Río Chicamocha es más alargada respecto a las de los ríos Suarez y Sogamoso, se infiere que esta subcuenca es menos propensa a tener crecientes sobre toda la superficie, ya que las aguas fluirán gradualmente hacia el cauce principal, desagua parte de su volumen antes de recibir las aguas de los puntos más distantes.

Tabla 6. Valores de Factor de Forma para las Subcuencas

FACTOR DE FORMA		
Rio Sogamoso	Rio Chicamocha	Rio Suarez
0.35	0,22	0,32
Cuenca Ligeramente Alargada	Cuenca Alargada	Cuenca Ligeramente Alargada

Fuente: Autores

¹⁵ CARLOS LONDOÑO ARANGO, Cuencas Hidrográficas, Bases Conceptuales y Caracterización. Capítulo 7, Pag 206

6.2.1.5 Coeficiente de Compacidad (Gravelious)

Este valor adimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de 1 para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Los valores de K_c nunca serán inferiores a 1. El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano sea a la unidad, lo cual quiere decir que entre más bajo sea K_c , mayor será la concentración de agua. La ecuación utilizada se muestra a continuación.

$$K_c = 0.28 * P/\sqrt{A}$$

Donde:

P: Perímetro de la Subcuenca

A: Área de Subcuenca

Este coeficiente define la forma de la cuenca, respecto a la similaridad con formas redondas, dentro de rangos que se muestran a continuación (FAO, 1985):

Tabla 7. Valores de Índice de Compacidad

VALOR DE K_c	INDICE DE COMPACIDAD
1-1.25	Redonda a oval redonda
1.25-1.50	De oval redonda a oval oblonga
1.50-1.75	De oval oblonga a rectangular oblonga
>1.75	Rectangular Oblonga

Fuente: FAO 1985

En las cuencas analizadas se encontraron los siguientes valores de forma, donde se logra interpretar que las subcuencas del Río Suarez y Sogamoso concentrar mayor cantidad de agua en escurrimiento, que la subcuenca del Río Chicamocha. Para la realización de la represa es importante que las subcuencas tengan un buen grado de escurrimiento ya que determina en gran medida la acumulación de agua y su eficiencia, y más rápido la lámina de agua de estas subcuencas alcanza el cauce principal.

Tabla 8. Coeficientes de Compacidad de Cuencas

COEFICIENTE DE COMPACIDAD		
Rio Sogamoso	Rio Chicamocha	Rio Suarez
1.8	2	1.8
Rectangular Oblonga	Rectangular Oblonga	Rectangular Oblonga

Fuente: Autores

6.2.1.6 Razón de Elongación (Re)

La razón de elongación se define como la razón del diámetro de un círculo, que tiene la misma área que la cuenca (A), a la longitud máxima de la cuenca (Lb); es decir, relaciona el diámetro de un círculo de área (A) igual a la de la cuenca y la longitud de la cuenca.

$$Ke = 1.1284 \sqrt{A}/Lb$$

Se evaluó teniendo en cuenta la siguiente relación

Re > 1 Cuenca Redonda
Re = 1 Cuenca Semiredonda
Re < 1 Cuenca Alargada

El escurrimiento resultante de una lluvia sobre una cuenca de forma alargada, no se concentra tan rápidamente, como en una cuenca de forma redonda; además, una cuenca con un factor de forma bajo (forma alargada) es menos propensa a tener una lluvia intensa simultáneamente sobre toda su superficie, que un área de igual tamaño con un factor de forma mayor. Se puede observar que los valores de la subcuenca de río Chicamocha tiene una razón de elongación menor, que es relacionable con la forma de Horton de la misma ¹⁶

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 7. Valores de Razón de Elongación para Subcuencas

RAZON DE ELONGACION		
Rio Sogamoso	Rio Chicamocha	Rio Suarez
0,63	0,53	0,64
Cuenca Alargada	Cuenca Alargada	Cuenca Alargada

Fuente: Autores

¹⁶ LONDOÑO., OP. Cit., p. 208

6.2.1.7 Razón Circular de Miller

Miller usó una razón circular adimensional, relaciona el área (A) de la cuenca en cuestión con el área de un círculo de igual perímetro (P). Se empleó la siguiente ecuación para determinar los valores para cada cuenca.

$$Rc = A/Ac$$

Esta razón es menor o igual a uno; los valores disminuyen a medida que la cuenca es más alargada o rectangular, y tienden a la unidad para cuencas redondas.¹⁷ En la siguiente tabla se muestran los valores correspondientes para cada cuenca analizada.

Tabla 8. Valores de Razón Circular de la Subcuencas

RAZON CIRCULAR DE MILLER		
Rio Sogamoso	Rio Chicamocha	Rio Suarez
0.3	0.04	0.3
Escasa a nula circularidad	Nula Circularidad	Escasa a nula circularidad

Fuente: Autores

6.2.1.8 Tiempo de Concentración

El tiempo de concentración de una cuenca, se define como el tiempo mínimo necesario para que una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de salida. Y se presenta el momento a partir del cual el caudal de esorrentía es constante. Para calcular este parámetro se empleó la ecuación según el método de California Cuvert Practice.

¹⁸

$$T_c = \left(\frac{0.870 \times L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Donde:

L: Longitud Cauce Principal

H: Diferencia de Alturas de la Subcuenca

¹⁷ Ibid., P. 209

¹⁸ GASPARI F. RODRGUEZ A. Morphometric characterization of the upper watershed of the Sauce Grande river, Buenos Aires, Argentina. Pag. 14

Se muestran a continuación los valores encontrados para cada subcuenca de estudio, los valores menores indican que presentan mayor susceptibilidad a presentar crecidas y que corresponde a cuencas un poco más ensanchadas en el caso de la subcuenca de río Suarez y Sogamoso, ya que el tiempo de recorrido del agua a través de las subcuencas es mucho más corta que en las cuencas alargadas, en este caso la subcuenca der Río Chicamocha presenta más alargamiento que las otras. En general los resultados mostrados son de utilidad al proyecto, pues las subcuencas presentan un bajo grado de presentarse crecidas o avenidas, el agua fluye constante en las subcuencas.

Tabla 9. Valores de Tiempo de Concentración de las Subcuencas

TIEMPO DE CONCENTRACION (hr)		
Rio Sogamoso	Rio Chicamocha	Rio Suarez
2,34	3,28	1,65

Fuente: Autores

6.2.2 Parámetros de Drenaje

La red de drenaje de una cuenca es el sistema interconectado de cauces, a través del cual, el agua captada en las partes altas se recolecta y es conducida a las partes bajas.¹⁹

Para las subcuencas estudiadas se determinaron los parámetros respecto al drenaje, como longitud, orden de drenaje y densidad de drenaje. Para ello se realizó por medio de software de ArcGis por medio de la aplicación de comandos para cuencas hidrográficas. .

6.2.2.1 Longitud del Cauce Principal

La longitud de la cuenca viene definida por la longitud de sus cauces principales, el cual le a la nombre a la cuenca siendo, la distancia equivalente que recorre el río entre el punto de desagüe aguas abajo y el punto situado a mayor distancia topográfica aguas arriba.

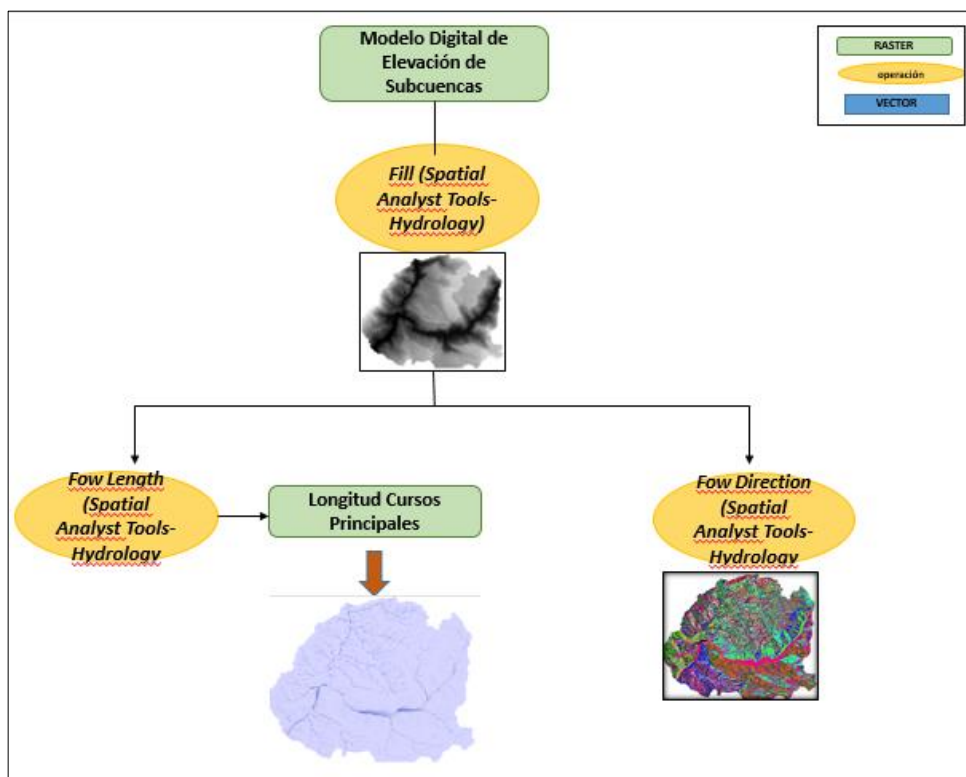
Este parámetro se obtuvo mediante el programa de ArcGis, teniendo como base el modelo digital de elevación con una resolución de 30m de cada subcuenca estudiada, fue necesario emplear las herramientas de Hydrology contenida en **Arctoolbox-Spatial Analyst Tools**.

¹⁹ BREÑA.F- JACOBO.M.,OP.Cit., P. 29

La primera herramienta utilizada fue Fill, para rellenar las imperfecciones del modelo digital de elevación con el objetivo de poder determinar de forma adecuada la dirección del flujo.

Seguido se determinó la dirección de flujo para cada subcuenca mediante Flow Dirección, en donde se requiere procesar el resultado del fill realizado anteriormente, a partir de este raster y con el comando Flow Length se determina la longitud del curso principal.

Imagen 16. Flujo de Modelamiento para Obtener Longitud de Cauces Principales



Fuente: Autores

Al igual que la superficie, este parámetro influye enormemente en la generación de escorrentía y por ello es determinante para el cálculo de la mayoría de los índices Morfométricos.

Tabla 10. Longitud del cauce principal

LONGITUD CURSO PRINCIPAL (Km)		
Rio Sogamoso	Rio Chicamocha	Rio Suarez
26.1	35.6	18.94

Fuente: Autores

6.2.2.2 Pendiente Promedio de Red Hídrica

La velocidad de escurrimiento de las corrientes de agua en una Cuenca Hidrográfica depende de la pendiente de los canales fluviales.²⁰

Para obtener estos valores es necesario interpolar el archivo reclasificado de pendientes y utilizar el archivo de red hídrica en formato shp, a partir del archivo generado se realiza una estadística con ayuda de la herramienta (Zonal Statistics as Table) dentro de ArcToolbox-Spatial Analyst Tools y así determinar este parámetro.

En cuanto mayor valor tome la pendiente, mayor será la velocidad del flujo y, por lo tanto, se convierte en un factor característico del tiempo de respuesta de la cuenca ante determinada precipitación, llegando a formar crecidas, ya que se incrementan en aquellas cuencas con valores altos, en éste caso la subcuenca del río Suarez tendrá una mayor velocidad de escurrimiento, parámetro que será tomado en cuenta si se presenta una lluvia torrencial en este sector.

Tabla 11. Valores de Pendiente Promedio de Red Hídrica

PENDIENTE PROMEDIO RED HIDRICA %		
Rio Sogamoso	Rio Chicamocha	Rio Suarez
1,56	1,54	2,12

Fuente: Autores

6.2.2.3 Orden de Red Hídrica u Orden de Bifurcación

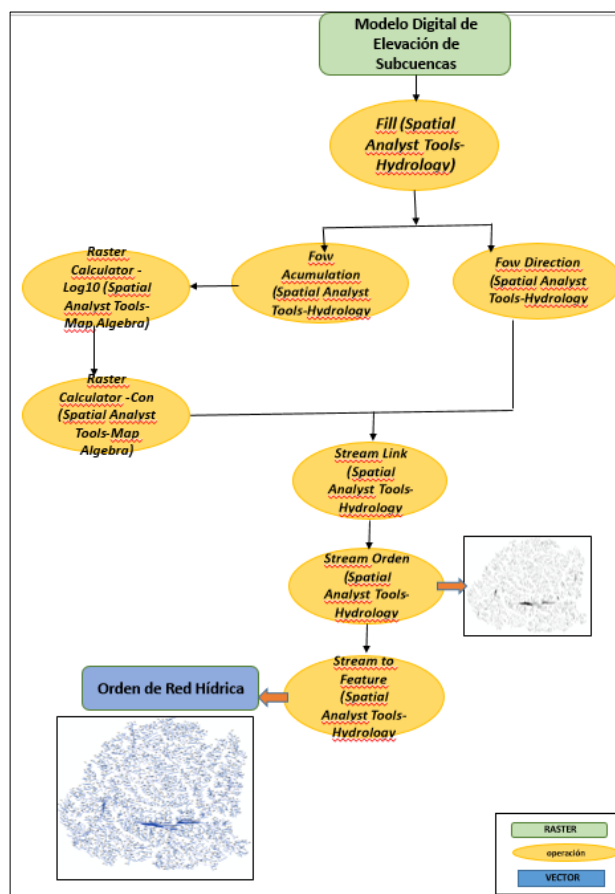
El orden de las corrientes es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca. Se determinó mediante la metodología de Schumm-Strahler, han clasificado la orden de drenaje donde se consideran orden de primer orden portadoras de aguas de nacimientos y que no tienen afluentes. Cuando dos corrientes de orden uno se unen, resulta una corriente de orden dos. De manera general, cuando dos corrientes de orden i se unen, resulta una corriente de orden $i+1$. Cuando una corriente se une con otra de orden mayor, resulta una corriente que conserva el mayor orden.²¹

²⁰ DELGADILLO A y MORENO A.,OP.Cit., P. 6

²¹ Curso de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza, Costa Rica. Capítulo 1. Pag 11.

Para determinar este valor, se emplea los resultados de la utilización del fill, la dirección de flujo (Flow Direction) y la acumulación de flujo (Flow Accumulation), es necesario calcular el orden de red hídrica con la herramienta Raster calculator que se encuentra en Arctoolbox-Spatial Analyst Tools- Map Algebra, realizando el cálculo correspondiente, en este caso se utilizó $\text{Log}_{10}(\text{FlowAcumulation})$, con esta misma herramienta se crea una condición $\text{Con}(\text{"RedLog"} \geq 2, \text{RedLog})$ sobre el archivo creado (RedLog) en el paso anterior, mostrándonos un archivo tipo raster con la red hídrica de las subcuencas, seguido se utiliza el comando stream link ayuda a definir las intersecciones de los drenajes, para ello se necesita el archivo creado por el raster calculator y flujo de dirección, con este archivo generado se procede a calcular el orden de red hídrico con ayuda de la herramienta stream orden, para visualizar mejor a red hídrica es conveniente convertir este archivo a formato shp, con el comando stream to feature

Imagen 17. Flujo de Modelamiento para Obtener Orden de Red Hídrica



Fuente: Autores

Entre más alto es el orden de la cuenca, indicará un drenaje más eficiente el cual transportaría y desalojaría rápidamente el agua.

Tabla 12. Orden de Red Hídrica

ORDEN DE RED HIDRICA		
Rio Sogamoso	Rio Chicamocha	Rio Suarez
6	6	5

Fuente: Autores

6.2.2.4 Densidad de Drenaje

Este índice relaciona la longitud de la red de drenaje y el área de la cuenca sobre la cual drenan las corrientes hídricas.

$$Dd = \text{Longitud Cauces} / \text{Area}$$

Con el fin de catalogar una cuenca como bien o mal drenada, analizando su densidad de drenaje, se puede considerar cuencas con drenaje pobre alrededor de 0,5 Km/Km² y cuencas bien drenadas alrededor de 3.5 Km/Km² o mayores que indican la eficiencia de la red de drenaje.

Para poder determinar la densidad de drenaje, se tuvo que calcular la longitud total de los cursos de agua y junto con el área total, para la determinación de este parámetro fue necesario emplear el modelo de elevación del área y mediante herramientas de análisis espacial como el raster calculator, donde se evalúan el flujo de dirección y acumulación de la subcuenca en el software de ArcGis; permitieron tener un conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la subcuenca. Desde un principio y sin tener en cuenta otros factores del medio físico de la cuenca, cuanto mayor sea la densidad de drenaje, más rápido será la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, evacuando el agua en menos tiempo.

Se observa que los valores para las subcuenca analizadas, presentando rangos superiores a 2, indica que tiene una buena densidad de drenaje están bien drenadas las subcuenca analizadas, en mayor proporción la subcuenca del Río Chicamocha, esto debido a presentar mayos área.

Tabla 13. Valores de Densidad de Drenaje

DENSIDAD DE DRENAJE (Km/Km²)		
Rio Sogamoso	Rio Chicamocha	Rio Suarez
2,34	2,87	2.6

Fuente: Autores

6.2.2.4 Longitud de la Red Hídrica

Generalmente, los caudales medios, máximos y mínimos, crecen con la longitud de los cauces, pero cabe resaltar que también dependen de la precipitación en el área. Esto se debe a la normal relación que existe entre las longitudes de los cauces y las áreas de las cuencas hidrográficas correspondientes, de tal manera que el área crece con la longitud y creciendo la superficie de captación. Este parámetro se expresa en kilómetros.

Para determinar estos valores es necesario utilizar el archivo de orden de red hídrica en formato SHP, en donde añadiremos un campo en la tabla de atributos con el nombre de longitud y mediante consultas como summarize escogiendo la opción Sum, obtendremos la longitud de red hídrica en Km.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede decir que las subcuenca presentan mayor longitud de drenaje a medida que aumenta el área, esta característica ligada a la escorrentía en la zona, presentara mayor escorrentía en las subcuenca de Chicamocha y Sogamoso.

Tabla 14. Longitud Red Hídrica

LONGITUD RED HIDRICA (Km)		
Rio Sogamoso	Rio Chicamocha	Rio Suarez
516.8	814,64	308.07

Fuente: Autores

6.2.2.5 Curva Hipsométrica

La curva hipsométrica, o curva hipsográfica, es la representación gráfica del relieve de una cuenca. Representa el estudio de la variación de la elevación de los varios terrenos de la cuenca, con referencia al nivel medio del mar. Esta variación puede ser indicada por medio de un gráfico que muestre el porcentaje de área de drenaje que existe por encima, o por debajo de varias elevaciones.

Esta distribución se puede mostrar por medio del histograma de las áreas comprendidas en los distintos rangos de altura. Sin embargo, como el devenir de los caudales en una sección fluvial depende, en forma acumulativa, de todo lo que ocurre aguas arriba de ella, se prefiere representar la distribución altitudinal mediante una curva de área-elevación o curva hipsométrica, la cual permite establecer, para cada altura, el área comprendida en la cuenca, y situada a una altura mayor que la que es dada.²²

Para la obtención de las curvas hipsométricas se empleó la siguiente ecuación.

$$H_c = \sum (Dh * Ai) / A$$

Donde:

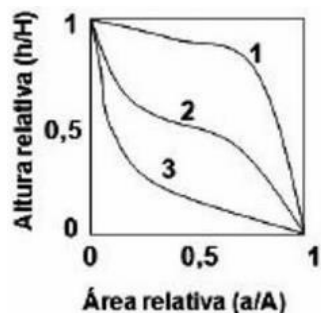
H_c: Altura media de la cuenca

D_h: Cota media del área i, entre dos curvas de nivel

A_i: Área entre dos curvas de nivel

A: Área total de la cuenca

A continuación se muestra las curvas hipsométricas de cada una de las cuencas estudiadas, se logra observar las variaciones en las áreas drenadas respecto a la altura de la cuenca, según el análisis de las curvas estas representan cuencas en estado de equilibrio y muestran una etapa geológicamente madura, como se observa en el diagrama.²³



1. Corresponde a una etapa de desequilibrio erosivo y representa una cuenca geológicamente joven
2. Corresponde a una etapa de equilibrio erosivo y presenta una cuenca geológicamente madura.
3. Representa una cuenca erosionada y estado de senectud

²² LONDOÑO., OP. Cit., p. 228

²³ MESA M, RODRIGUEZ A, CORVACHO O, TAPIA A. Morphometric Analysis Of Micro Watersheds Affected For Debris Flows Caused By Heavy rains in The Camiña. 2014. Chile

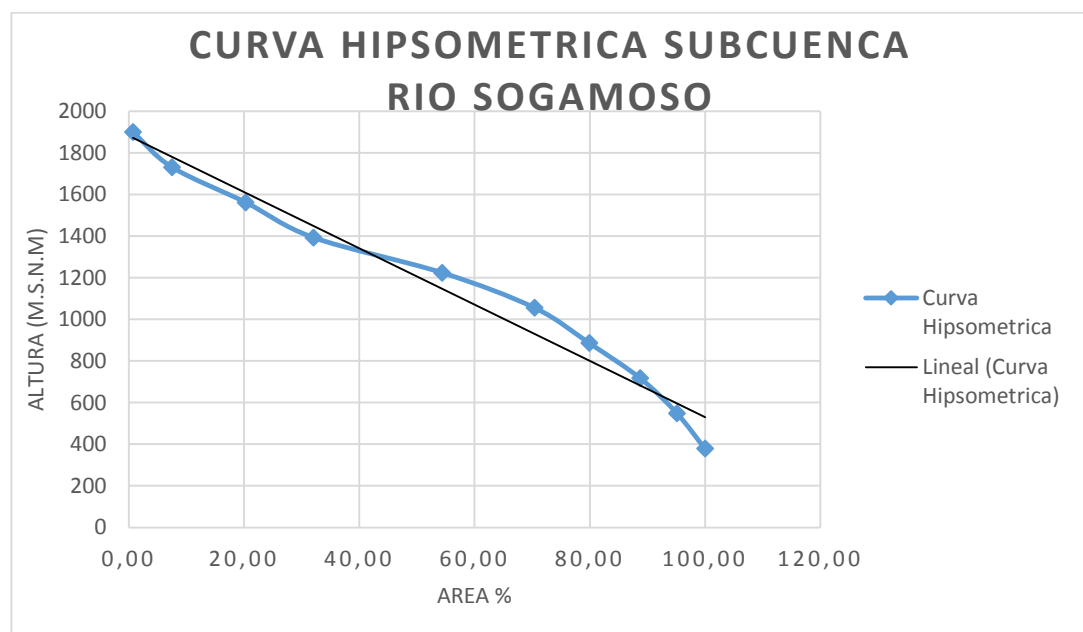
Tabla 15. Valores de Alturas y Área Subcuenca Sogamoso

Intervalo de Alturas	Área	Porcentaje Acumulado de Área
378,5	10,48	100
548	13,79	95,14
717	19,08	88,74
886	20,39	79,89
1055	34,67	70,44
1224	48,14	54,36
1393	25,39	32,03
1562	27,54	20,25
1731	14,62	7,48
1900	1,5	0,70

Fuente: Autores

Como se puede apreciar en grafico la curva presenta para una altura de 1900 tenemos un 1.5 % del área de la cuenca. Para todos los casos en altura 0 tenemos el 100% del área acumulada de la cuenca. Esta subcuenca es la que presenta mayor cantidad de área a mayor altura, posiblemente posee mayor potencial erosivo en fase de madurez.

Grafico 1. Curva Hipsométrica Subcuenca Río Sogamoso



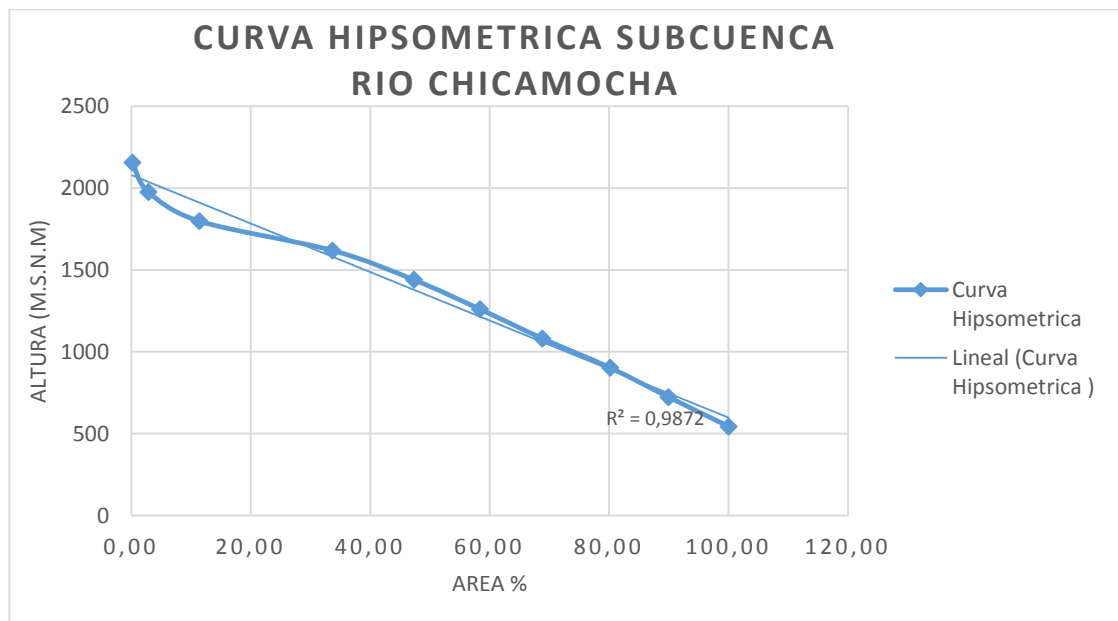
Fuente: Autores

Tabla 16. Valores de Altura y Área de Subcuenca Chicamocha

Intervalo de Alturas	Área	Porcentaje Acumulado de Área
544	28,99	100
724	28,11	89,92
903	32,62	80,14
1082	30,1	68,80
1261	31,76	58,33
1440	39,24	47,29
1619	64,09	33,64
1798	24,47	11,35
1977	7,78	2,84
2156	0,4	0,14

Fuente: Autores

Grafico 2. Curva Hipsométrica de Subcuenca Río Chicamocha



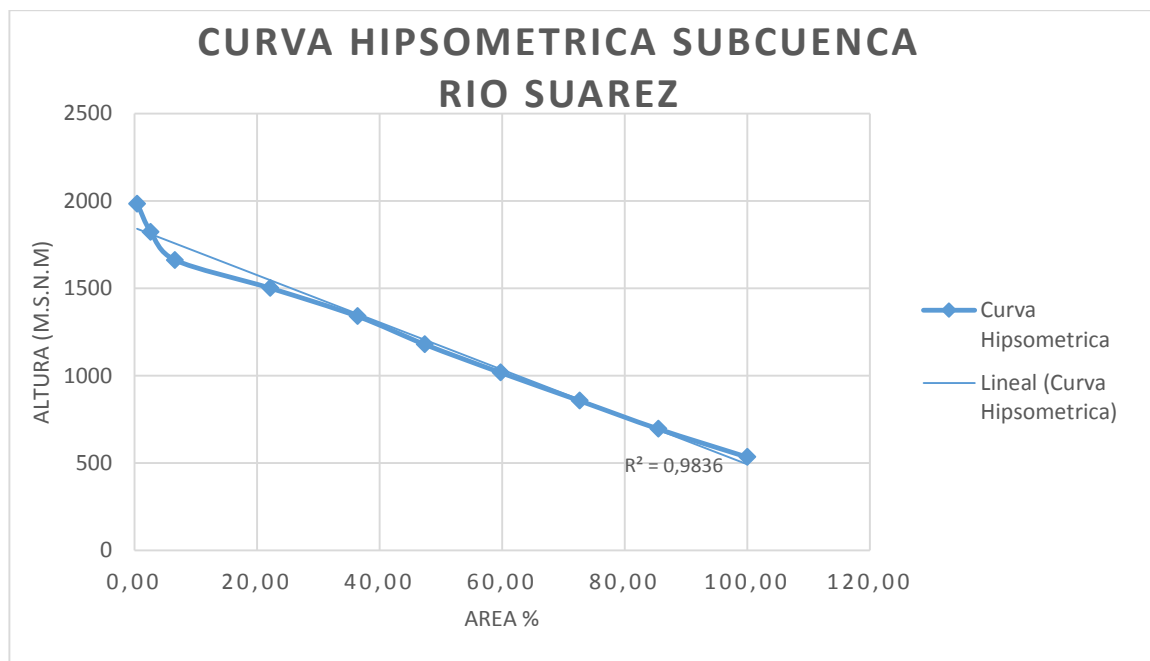
Fuente: Autores

Tabla 17. Valores de Alturas y Áreas de Subcuenca Río Suarez

Intervalo de Alturas	Área	Porcentaje Acumulado de Área
535	16,93	100
696	14,96	85,48
857	15,05	72,66
1018	14,42	59,75
1179	12,82	47,39
1340	16,61	36,40
1501	18,13	22,16
1662	4,63	6,61
1823	2,56	2,64
1984	0,52	0,45

Fuente: Autores

Grafico 3. Curva Hipsométrica Subcuenca Río Suarez



Fuente: Autores

7. CARACTERIZACION HIDROMETEOROLOGICA

La caracterización hidrometeorológica permite describir y analizar los cambios que se presentan en la zona de estudio en un intervalo de tiempo determinado, para esto es necesario determinar ciertos parámetros hídricos y la elaboración del balance hídrico, estos nos permitirán saber el estado de la zona en cuanto a aspecto hídrico, fundamental para el desarrollo de obras ingenieriles.

7.1 DATOS METEOROLÓGICOS

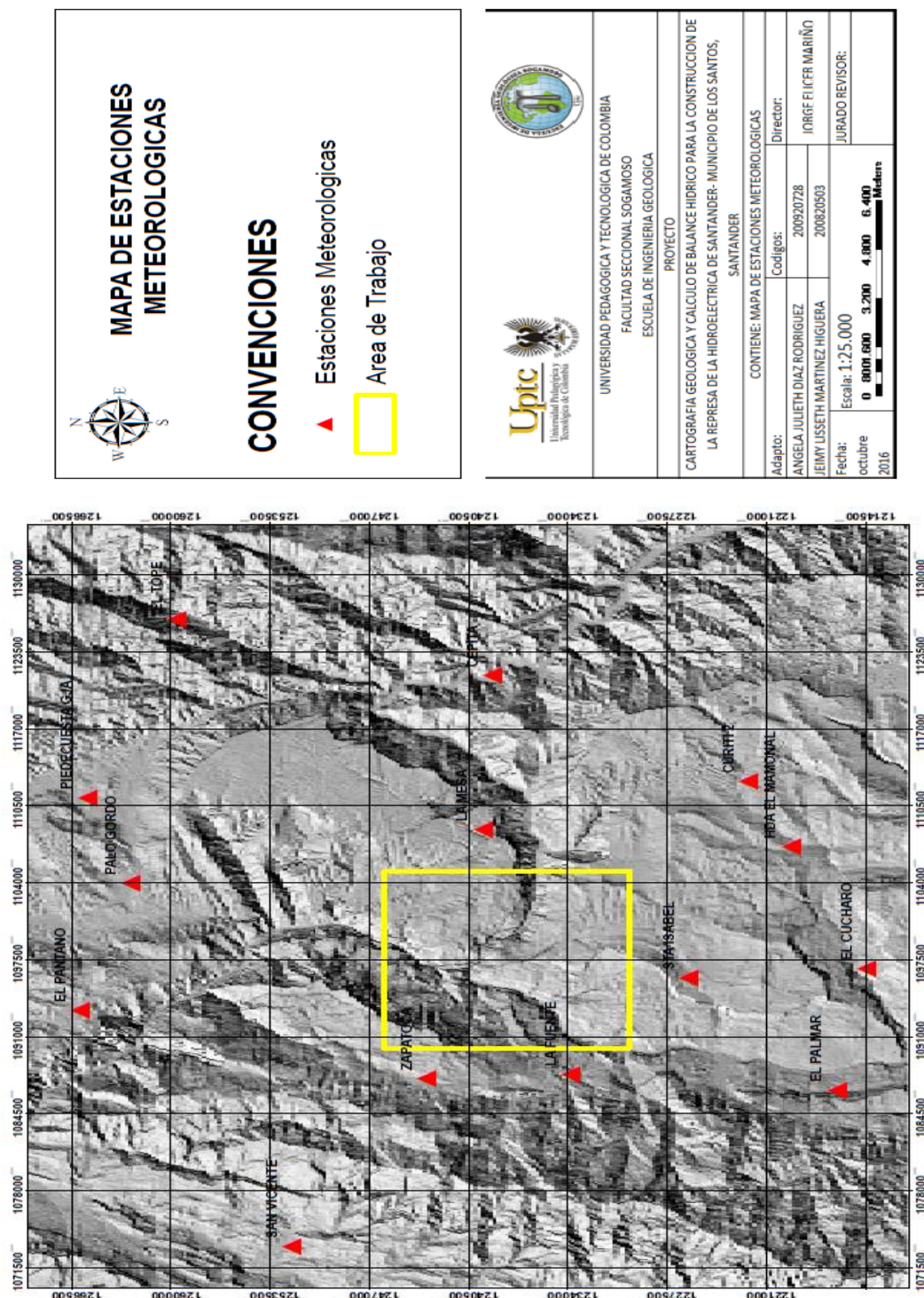
Para la elaboración de la caracterización hidrometeorológica fue necesario obtener una serie de datos meteorológicos de 40 años de 15 estaciones hidrometeorológicas suministradas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia IDEAM, las cuales están cercanas a la zona de estudio. Estas estaciones utilizadas son de tipo climatológicas ordinarias, climatológica principal y pluviométricas, las cuales proporcionaron datos como precipitación, temperatura, humedad, la última estación es la única que proporciona datos de caudal. Estos fueron base para la estimación de los demás parámetros y el cálculo de balance hídrico. Se muestra a continuación la tabla donde se muestra cada una de las estaciones utilizadas y la ubicación en el área.

Tabla 18. Estaciones Meteorológicas Utilizadas IDEAM

ESTACIONES METEREOLÓGICAS					
ID	CODIGO	ESTACION	CORRIENTE	MUNICIPIO	TIPO
1	24025020	El Cucharó	Fonce	Pinchote	CP
2	24050060	San Vicente	Chucuri	San Vicente De Chucuri	PM
3	23190600	El Pantano	Qda La Angula	Giron	PM
4	23190700	Piedecuesta	Lato	Piedecuesta	PG
5	24030330	El Tope	Umpala	Santa Barbara	PM
6	24055040	El Palmar	Suarez	Palmar	CO
7	24020150	Hda El Mamonal	Fonce	San Gil	PM
8	24040050	Santa Isabel	Sogamoso	Barichara	PM
9	24060050	La Mesa	Qda Los Santos	Los Santos	PM
10	24055030	Zapatoca	Qda Zapatoca	Zapatoca	CO
11	24050100	La Fuente	Suarez	Zapatoca	PM
12	23190280	Palo Gordo	De Oro	Giron	PM
13	24020130	Curiti 2	Fonce	Curiti	PM
14	24030300	Cepita	Chicamocha	Cepita	PM
15	24037360	El Jordan	Chicamocha	El Jordan	LM

Fuente: IDEAM, autores

Imagen 18. Ubicación de Estaciones Meteorológicas Utilizadas en el Estudio



Fuente: Autores

7.2 PRECIPITACIÓN

Se denomina precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida y sólida. Ellas son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión. La precipitación constituye la única entrada principal al sistema hidrológico continental²⁴

Este es uno de los parámetros de mayor importancia debido a que determina la entrada de mayor aportación de agua a una cuenca, junto con la cantidad y frecuencia que esta tiene. Para el análisis de la precipitación se contó con los datos de las estaciones meteorológicas y que fueron relevantes para el cálculo de la precipitación media y mapa de isoyetas de la zona estudiada.

En el procesamiento de la serie de datos de precipitación, fue necesario encontrar los valores faltantes por medio de la ecuación del método simplificado para zonas montañosas.²⁵

$$Px = \frac{Px'}{N} \left(\frac{PA}{PA'} + \frac{PB}{PB'} + \frac{PC}{PC'} \right)$$

Donde

N: Número de estaciones pluviométricas

PX: Precipitación de la estación X durante el periodo de tiempo por completar

PX', PA', PB', PC': Promedio de precipitaciones anuales registradas en las estaciones A, B, C, y X de un periodo común.

PA, PB, PC: Precipitaciones de las estaciones A, B, y C durante el periodo que falta en X.

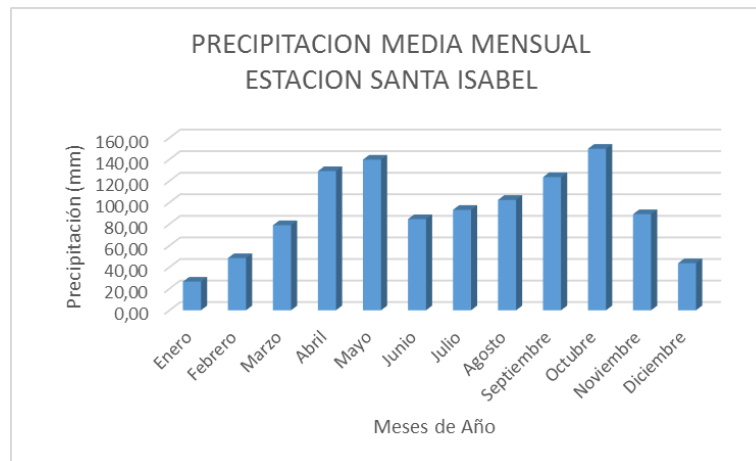
Con la totalidad de los datos de precipitación se elaboran los histogramas de frecuencias, en donde se puede observar el comportamiento bimodal de la precipitación media anual desde el año 1975-2015 tiempo en el cual se ha presentado dos fluctuaciones importantes debidos a los cambios climáticos que ha experimentado nuestro país en los últimos 40 años.

Se muestran los histogramas de las estaciones más cercanas a la zona de estudio se logra observar el régimen bimodal, con un periodo de lluvia en los meses de Marzo a Mayo y Septiembre a finales de Octubre y que representan similitud en cuanto a la distribución con las demás estaciones utilizadas.

²⁴ ORDOÑEZ J. Balance Hídrico Superficial, Cartilla técnica Sociedad Geográfica de Lima. Capítulo 1. Pág. 9

²⁵ SQKOLOV.A y CHAPMAN T.C. Métodos de cálculo de Balance Hídrica, Guía Internacional de Investigación y Métodos. España

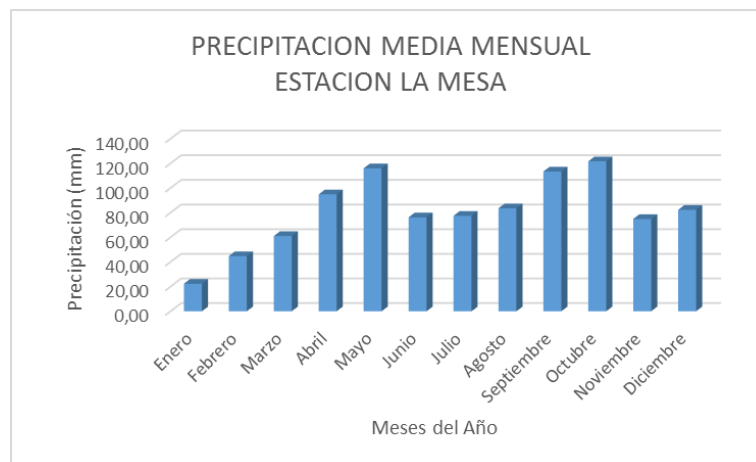
Grafico 4. Histograma de Frecuencia de la Estación Santa Isabel



ESTACION SANTA ISABEL													
MES	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Valor Anual
PRECIPITACION (mm)	26,62	48,43	78,95	129,12	139,74	84,57	93,17	102,43	123,57	149,83	89,20	43,70	1109,3

Fuente: Suministro de datos del Ideam

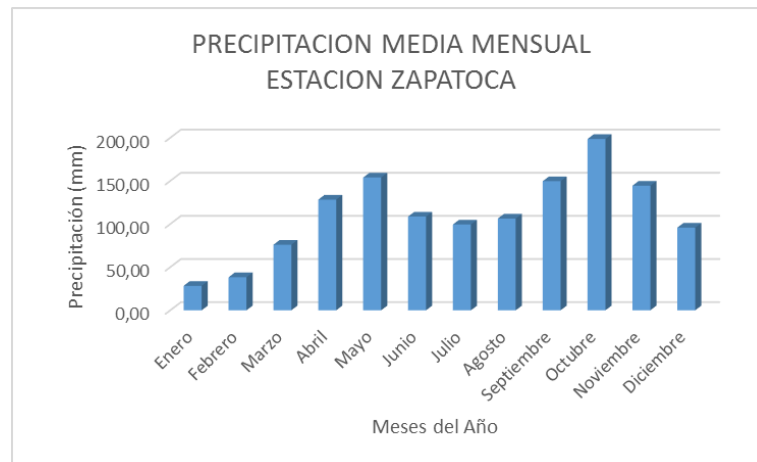
Grafico 5. Histograma de Frecuencia de Estación La Mesa



ESTACION LA MESA													
MES	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Valor Anual
PRECIPITACION (mm)	22,35	44,77	61,11	94,93	116,06	76,24	77,45	83,59	113,44	121,70	74,91	82,33	968,9

Fuente: Suministro de datos del Ideam

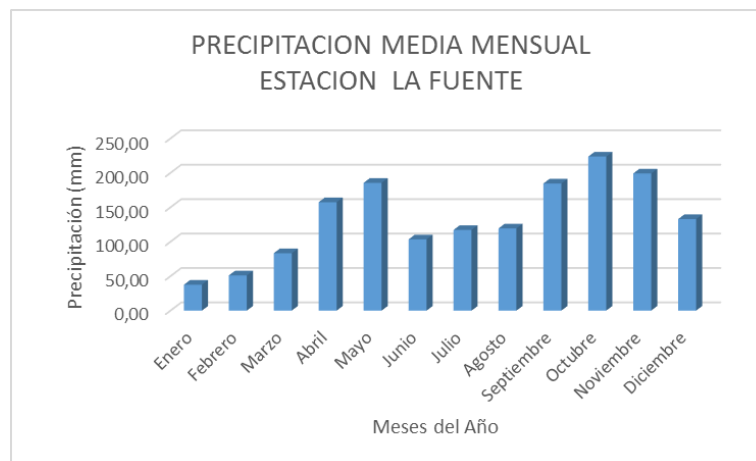
Grafico 6. Histograma de Frecuencia de Estación Zapatoaca



ESTACION ZAPATOCA													
MES	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Valor Anual
PRECIPITACION (mm)	28,37	38,37	76,05	128,29	154,01	108,66	99,50	106,34	149,70	198,64	144,48	95,88	1328,3

Fuente: Suministro de datos del Ideam

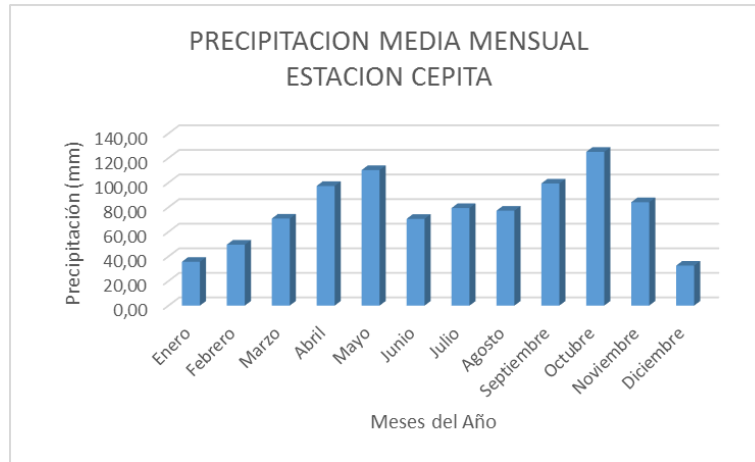
Grafico 7. Histograma de Frecuencia de Estación La Fuente



ESTACION LA FUENTE													
MES	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Valor Anual
PRECIPITACION (mm)	37,63	51,10	83,40	157,46	185,57	103,44	117,16	119,36	184,62	223,79	199,17	132,92	1595,6

Fuente: Suministro de datos del Ideam

Grafico 8. Histograma de Frecuencia de Estación Cepita

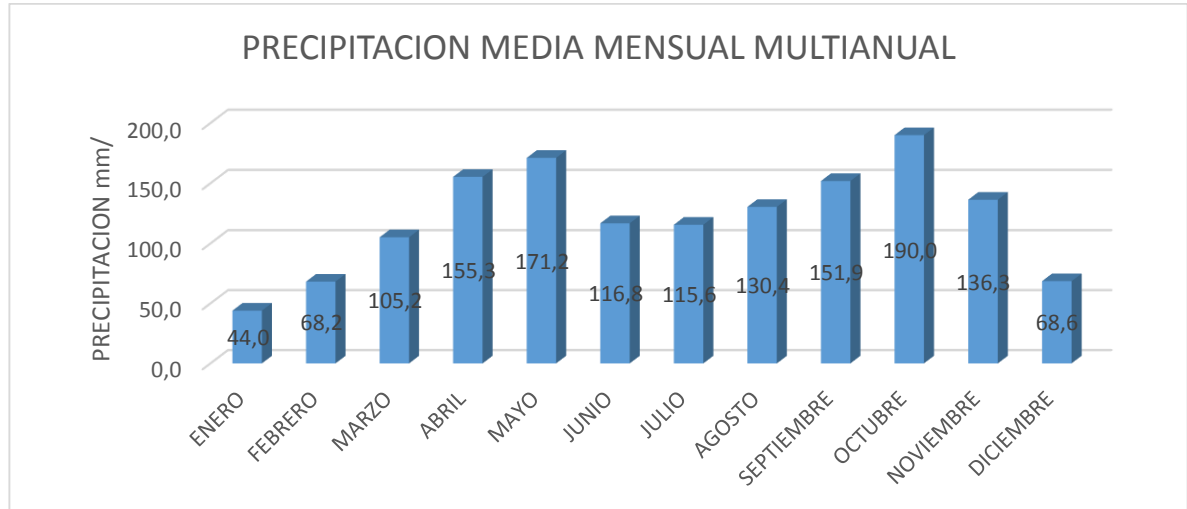


ESTACION CEPITA													
MES	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Valor Anual
PRECIPITACION (mm)	35,63	49,56	70,77	97,30	110,22	70,56	79,33	77,22	99,31	125,09	84,12	32,53	931,6

Fuente: Autores, Tomada de datos del Ideam

En la Gráfica correspondiente a la precipitación media mensual multianual desde 1974-2015 se puede apreciar el comportamiento bimodal de los regímenes de lluvia de la cuenca, el primero de ellos entre los meses de abril – mayo y el segundo entre los meses, septiembre y octubre, cuyos valores registrados están entre los 150-190 mm/mes; En general en el transcurso del año los valores de precipitación media mensual oscilan entre los 40 mm/mes – 190 mm/mes, registrando los valores más bajos en el mes de enero y los más altos han sido registrados en el mes de Septiembre. Se puede apreciar en el mapa de isoyetas que las mayores precipitaciones se dan hacia el municipio de Barichara y Villa Nueva, se observan que las menores precipitaciones se presentan hacia el municipio de los Santos y límites con Cepitá.

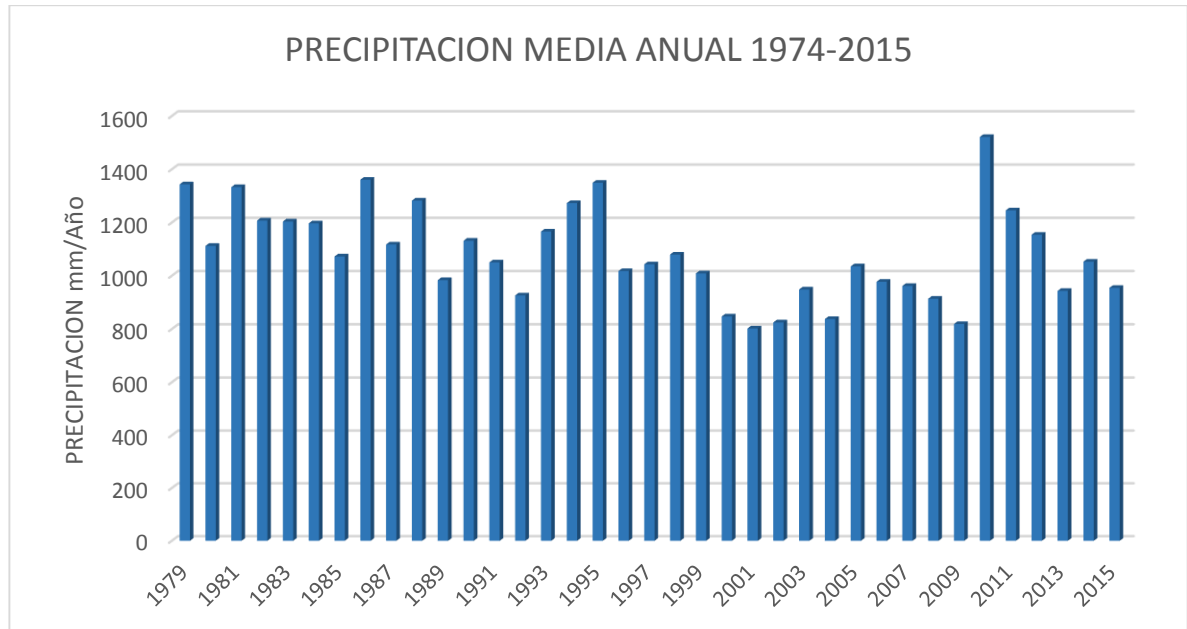
Grafico 9. Precipitación Media Mensual Multianual



Fuente: Autores

En la siguiente grafica se puede apreciar el comportamiento de la precipitación media mensual anual en el área de estudio, desde 1975-2015, tiempo en el cual ha presentado tres fluctuaciones importantes que ha experimentado nuestro país en los últimos 40 años; la primera de ellas correspondiente al año de 1980 en el cual presenta precipitaciones cerca a los 1.600.mm/año, la segunda una temporada de lluvia bastante fuerte en nuestro país a finales de 1994 y mediados de 1996 y la tercera fluctuación se da a comienzos de 2011, evidenciada por la precipitación superior a los 1.600 mm/año, incrementos bastante importantes que se deben tener en cuenta, ya que el área de estudio presenta precipitaciones promedio anual que varían entre 800 -1.500 mm/año, dependiendo de la altura sobre el nivel del mar en donde se presente. También se puede observar periodos de bajas precipitaciones en los años 2001,2002, 2004 y 2010 periodos en los cuales los valores medios de precipitación anual están por debajo de los 1000 mm/año, incluso en las partes más altas de la cuenca.

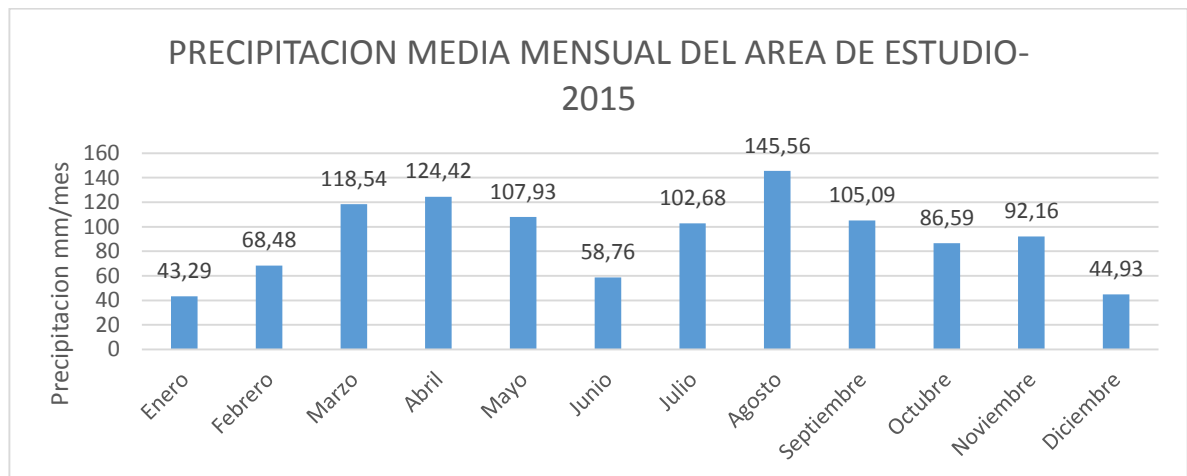
Grafico 10. Precipitación Media Anual 1974-2015



Fuente: Autores

Para observar un comportamiento inmediato de la precipitación en la zona de estudio, se presenta la siguiente grafica en donde se evidencia el régimen bimodal de lluvias en el transcurso del año 2015. Con temporadas de lluvia en los meses de marzo a mayo y un incremento mayor en el mes de agosto.

Grafico 11. Precipitación Media Mensual Zona de Estudio



Fuente: Autores, Suministro de datos del Ideam

7.2.1 Precipitación Media

Para el cálculo de la precipitación media, se realizó mediante la ecuación de media aritmética el cual consiste en realizar la suma del valor registrado en cada una de las estaciones pluviométricas del área y dividirla por el número total de estaciones analizadas.

$$P = \sum_{k=0}^n (P_i/n).$$

Dónde:

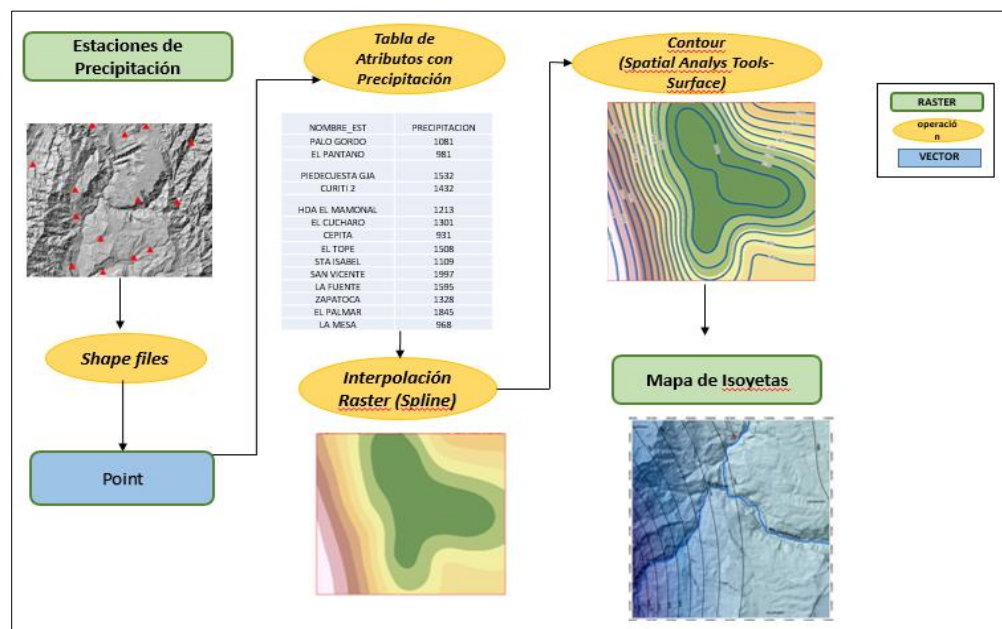
Pi: Precipitación media registrada en estaciones meteorológicas

n: Número de estaciones

Aplicando la formula anterior se encontró un valor de precipitación media de 1506 mm/año.

Por medio del programa de ArcGis 10.2 se elaboró el mapa de isoyetas, para su realización fue necesario crear tablas de atributos con los valores de la precipitación en cada una de las estaciones meteorológicas, a partir de estos datos se realiza una interpolación raster de tipo spline, en donde estima valores usando función matemática que minimiza la curvatura general de la superficie lo que resulta en una superficie suave que pasa exactamente por los puntos de entrada, a partir de este resultado se generaron los contornos a un intervalo de 50 mm, mediante la opción de contornos en las herramientas de análisis espacial — correspondiente a la superficie.

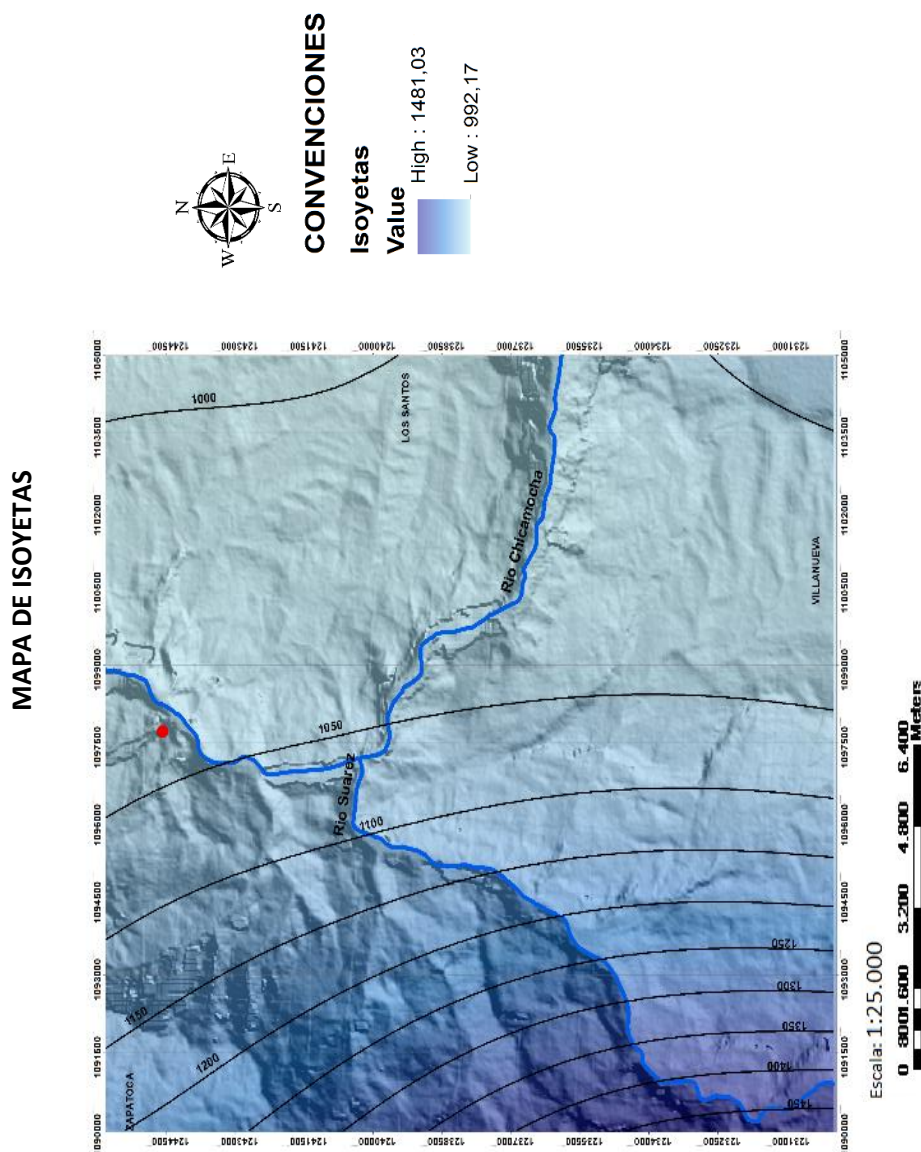
Imagen 19. Flujo de Modelamiento para Obtener Mapa de Isoyetas



Fuente: Autores

En el siguiente mapa se observa las variaciones de precipitación según la distribución de estaciones meteorológicas en el área, mostrando que valores mínimos de 921 mm con tonalidades de azul claro y puede llegar a valores máximos de 1481.03 mm en azul oscuro. Se muestra que en la parte donde se registran mayores precipitaciones en el río Suarez y en menor cantidad hacia el río Sogamoso, teniendo gran incidencia en los caudales de estos.

Imagen 20. Mapa de Isoyetas

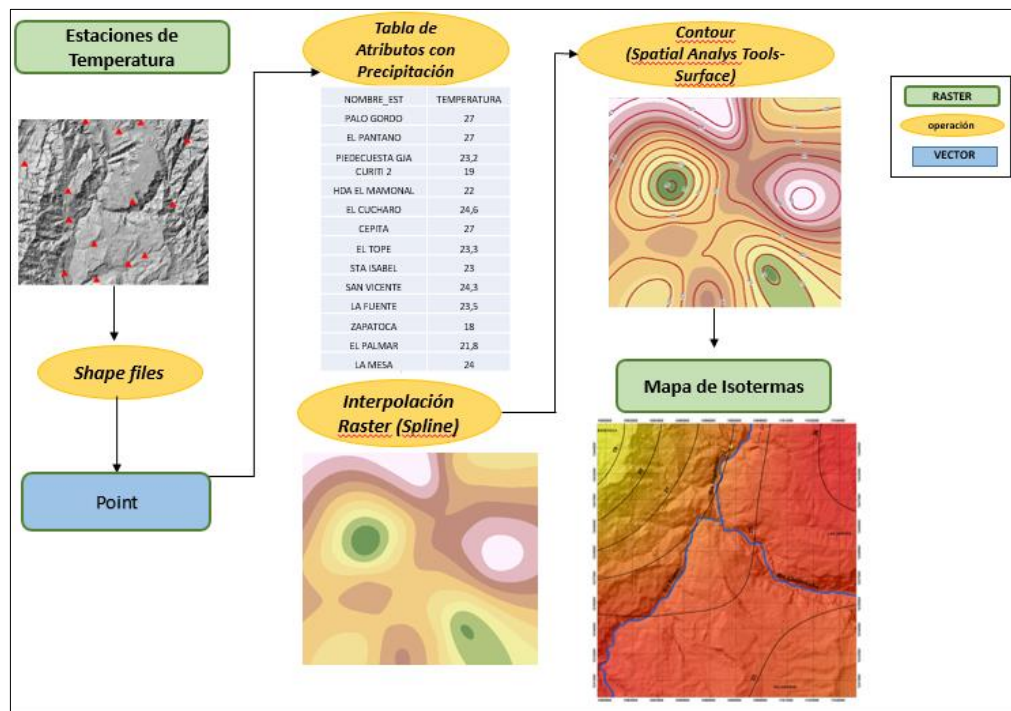


Fuente: Autores

7.3 TEMPERATURA

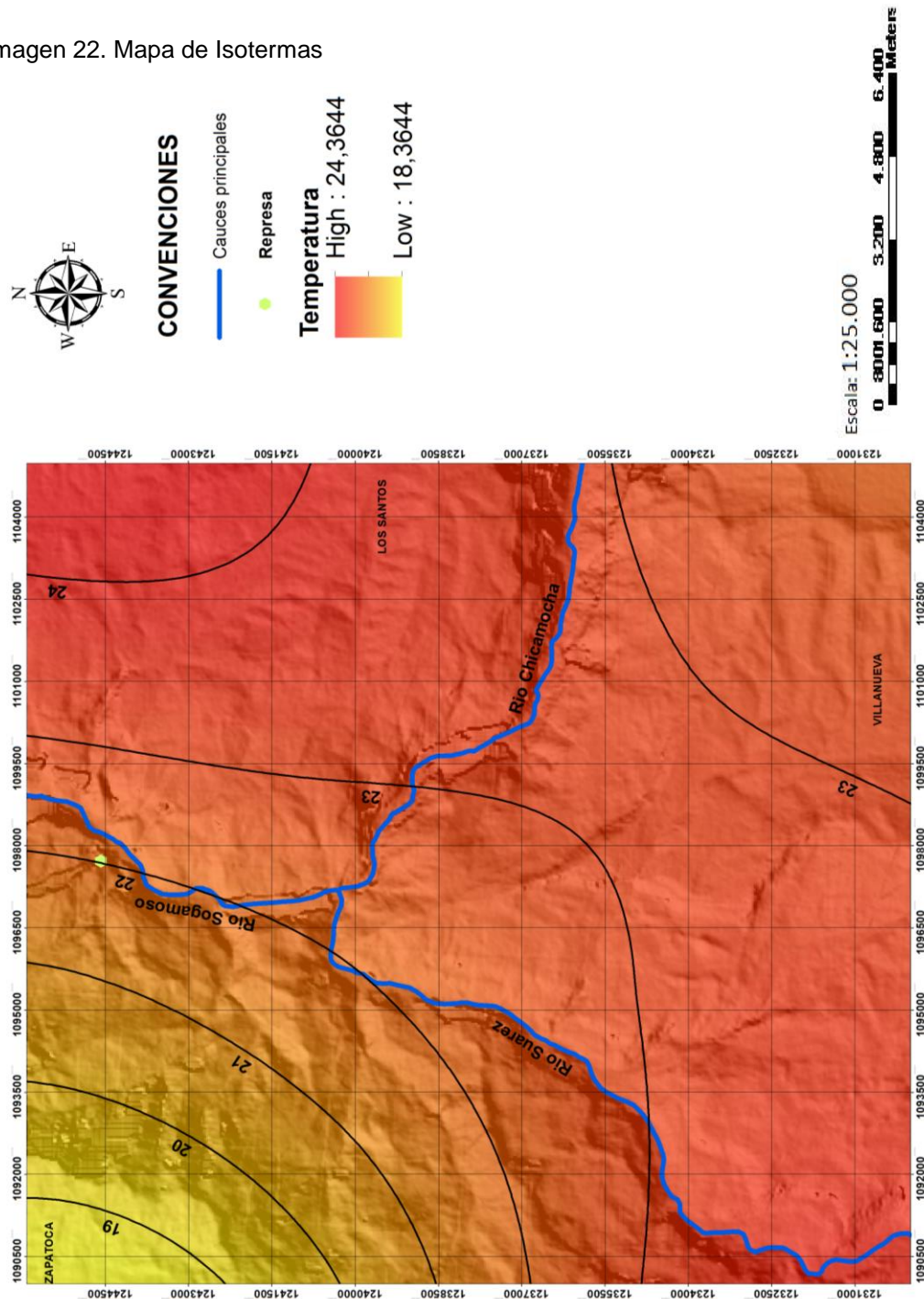
Este parámetros está ampliamente ligado a la evaporación, evapotranspiración y al aumento o disminución de la humedad en el ciclo hidrológico. En el área de estudio la temperatura oscila entre los 17 y 28 °C correspondiente a un clima templado. Con los datos de temperatura obtenidos de las estaciones meteorológicas se estableció la variación espacial de la temperatura por medio de la realización del mapa de isotermas medias anuales, en el programa de ArcGis, en donde se realiza la interpolación raster (spline) de los datos de temperatura ingresados en la tabla de atributos para cada una de las estaciones meteorológicas y posteriormente se generan los contornos con un intervalo de 1°C mediante las herramientas de análisis espaciales, en donde se muestra bien estas variaciones, la temperatura disminuye hacia el municipio de Zapatoca, en la intersección de los tres ríos se presenta una temperatura de 22°C. En el cuadro enmarcado del área de estudio se presenta temperaturas medias entre 22 y 24 °C, disminuyendo hacia las partes de mayor altitud ya que facilita la salida de aire caliente.

Imagen 21. Flujo de Modelamiento Para Generación de Mapa de Isotermas



Fuente: Autores

Imagen 22. Mapa de Isotermas



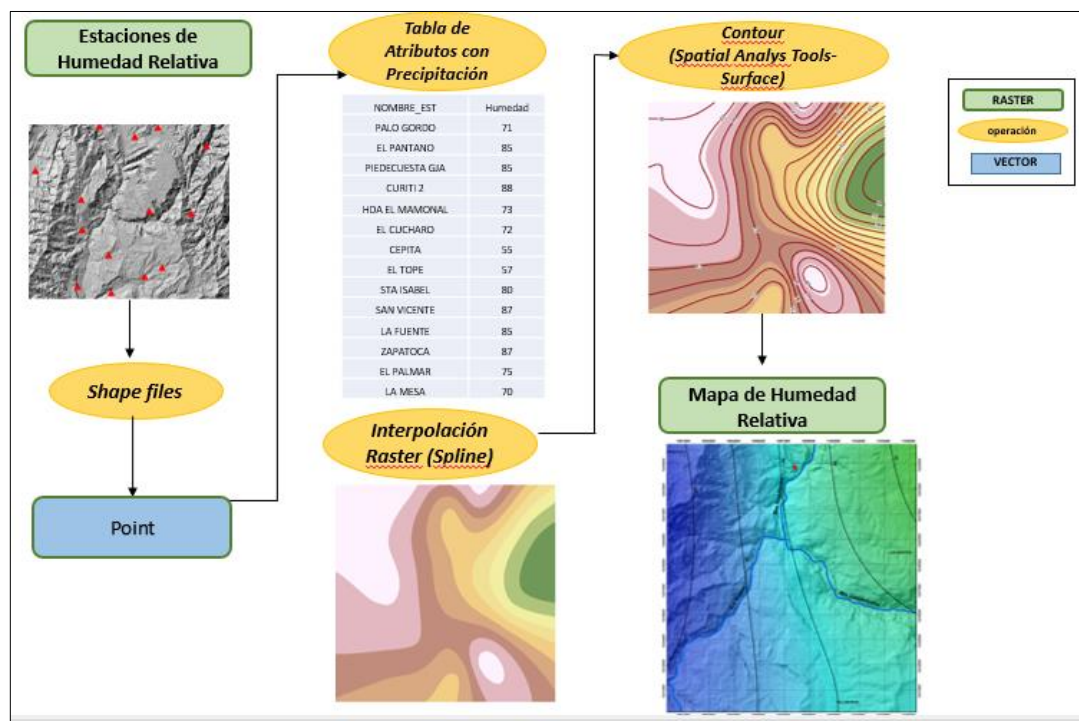
Fuente: Autores

7.4 HUMEDAD RELATIVA

Humedad relativa, mide la cantidad de agua en el aire en forma de vapor, comparándolo con la cantidad máxima de agua que puede ser mantenida a una temperatura dada. Este parámetro también comprende la relación entre la presión de vapor real y la saturación, expresada en porcentaje, y tiene alta influencia en la variable de evaporación que se presente.

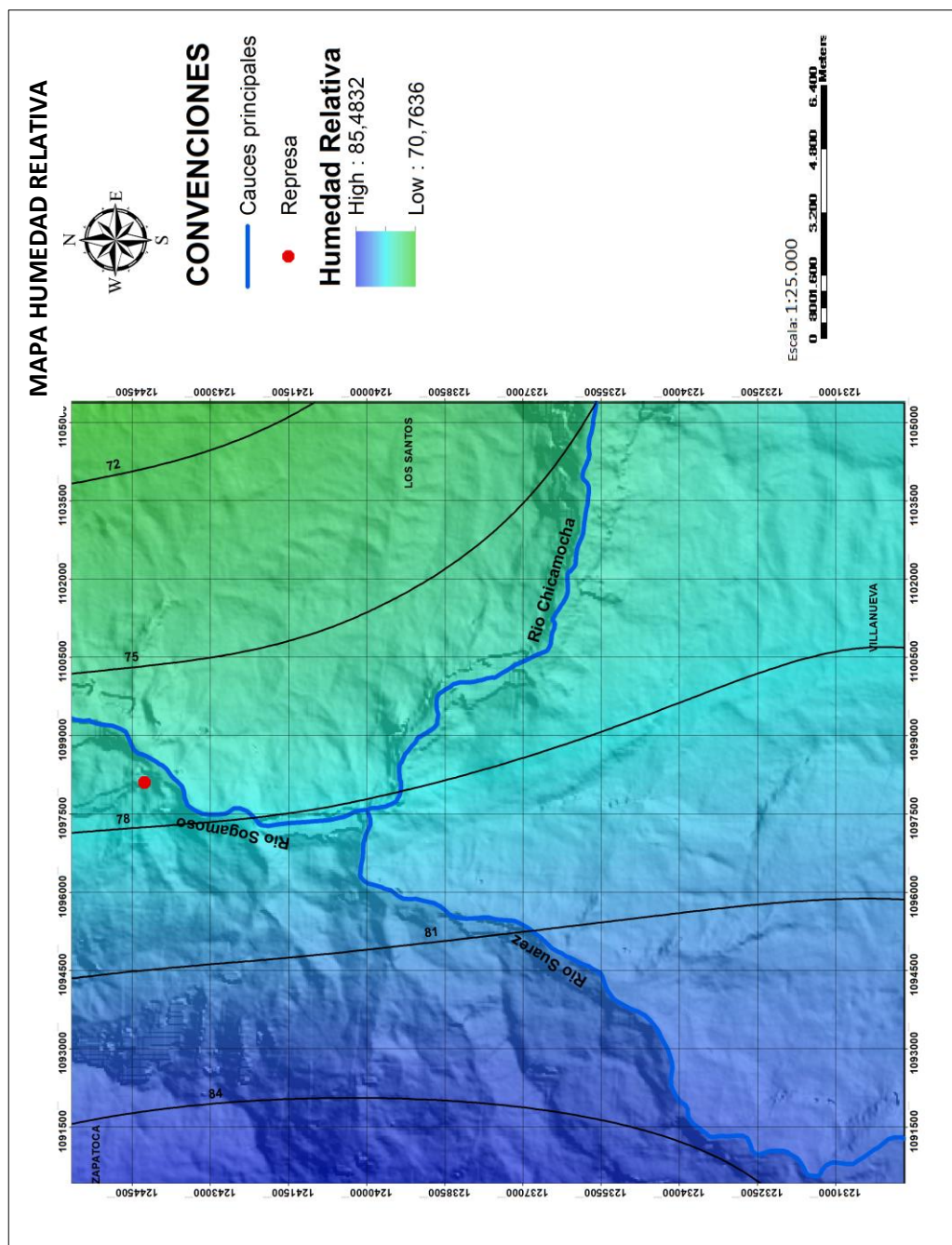
Se realizó el mapa de humedad relativa, con valores que oscilan entre 75% y 85 % en la zona de estudio según los datos suministrados por las estaciones meteorológicas, los cuales son interpolados mediante interpolación (spline) en el software de ArcGis y mostrando en la superficie de contornos cada 3%, el mapa nos muestra la distribución de la humedad, presenta humedades mayores hacia el norte del área en el municipio cercano al municipio de Zapatoca con una tonalidad azul, siguiendo una relación inversamente proporcional con la temperatura la cual disminuye en este municipio, hay una reducción de la humedad relativa hacia el municipio de los Santos alcanzando humedad de 72 %.

Imagen 23. Flujo de Modelamiento Para la Generación de Mapa de Humedad Relativa



Fuente: Autores

Imagen 24. Mapa de Humedad Relativa



Fuente: Autores

7.5 EVAPORACIÓN

La evaporación se da gracias al efecto de la radiación solar y la fricción de entre el flujo del viento y la superficie del agua, generando evaporación desde las superficies libres de agua, pasando de estado líquido a gaseoso transfiriéndose a la atmosfera. ²⁶. En la zona de estudio se presenta valores de evaporación máxima de 1760 mm hacia el municipio de Zapatoca y valores mínimos de 826 mm.

7.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN

Este parámetro se encuentra definido por la relación cultivo-suelo, que constituye la pérdida fundamental de agua. Dentro de este concepto se llevan a cabo dos distinciones; la evapotranspiración Potencial y evapotranspiración Real.

7.5.1 Evapotranspiración Potencial

Es la máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación, que se desarrolla en óptimas condiciones y en el supuesto caso de no existir limitaciones en la disponibilidad del agua. Según esta definición, la magnitud de la evapotranspiración está regulada solamente por las condiciones meteorológicas, según el caso, del momento o periodo para la cual se realiza la estimación. ²⁷ Para la estimación de este parámetro se empleó la ecuación del método Thornthwaite. Donde se emplea el valor de la temperatura media mensual multianual, índice calórico (I) y un exponente empírico (a).

$$ETP = 16 \cdot \left[\frac{10T}{I} \right]^a$$

$$I = \sum i \quad i = (T/5)^{1.514}$$

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} I + 0,49239$$

Para el cálculo de la ETP de un mes determinado será preciso corregir la ETP sin ajustar, mediante un coeficiente que tenga en cuenta el número de días del mes y horas de luz de cada día, en función de la latitud que en la zona de estudio es 6°. Para lo cual se introduce el índice de iluminación mensual en unidades de 12 horas, que deberá multiplicar a la ETP sin ajustar para obtener la ETP según Thornthwaite, este índice está dado por la ecuación;

$$L_i = Nd_i/30 \times N_i/12$$

²⁶ ORDOÑEZ J., Op., cit. P. 22

²⁷ ALMOROX. J Métodos de Estimación Evapotranspiración y Balance Hídrico

La siguiente tabla se muestra los valores de evapotranspiración encontrada.

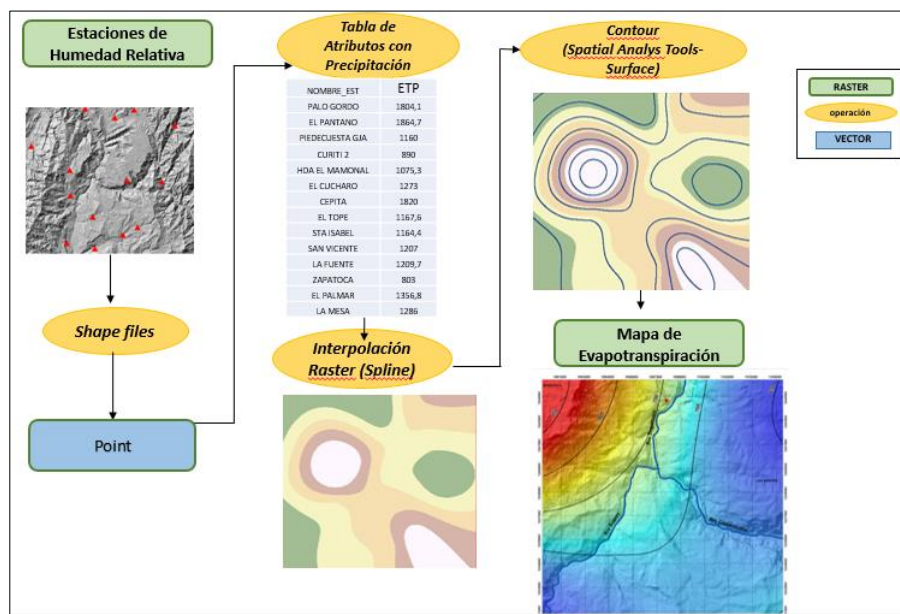
Tabla 19. Valores de Evapotranspiración Potencial por Estación

ESTACION	TEMPERATURA	ETP
El Cucharo	26.4	1273
San Vicente	24.3	1297
El Pantano	27	1864.7
Piedecuesta	23.2	1160
El Tope	23.3	1167.6
El Palmar	21.8	1356.8
El Mamonal	22	1075.3
Santa Isabel	23	1164,4
La Mesa	24	1286.7
Zapatoca	18	803
Palogordo	27	1804.1
La Fuente	23.5	1209.7
Curiti	19	890
Cepita	27	1820

Fuente: Autores

Los valores de evapotranspiración potencial hallados anteriormente con la ecuación de Thornthwaite para cada estación meteorológica, estas fueron interpoladas mediante el programa de ArcGis 10.2 con la función interpolación (spline), para la realización del mapa de evapotranspiración.

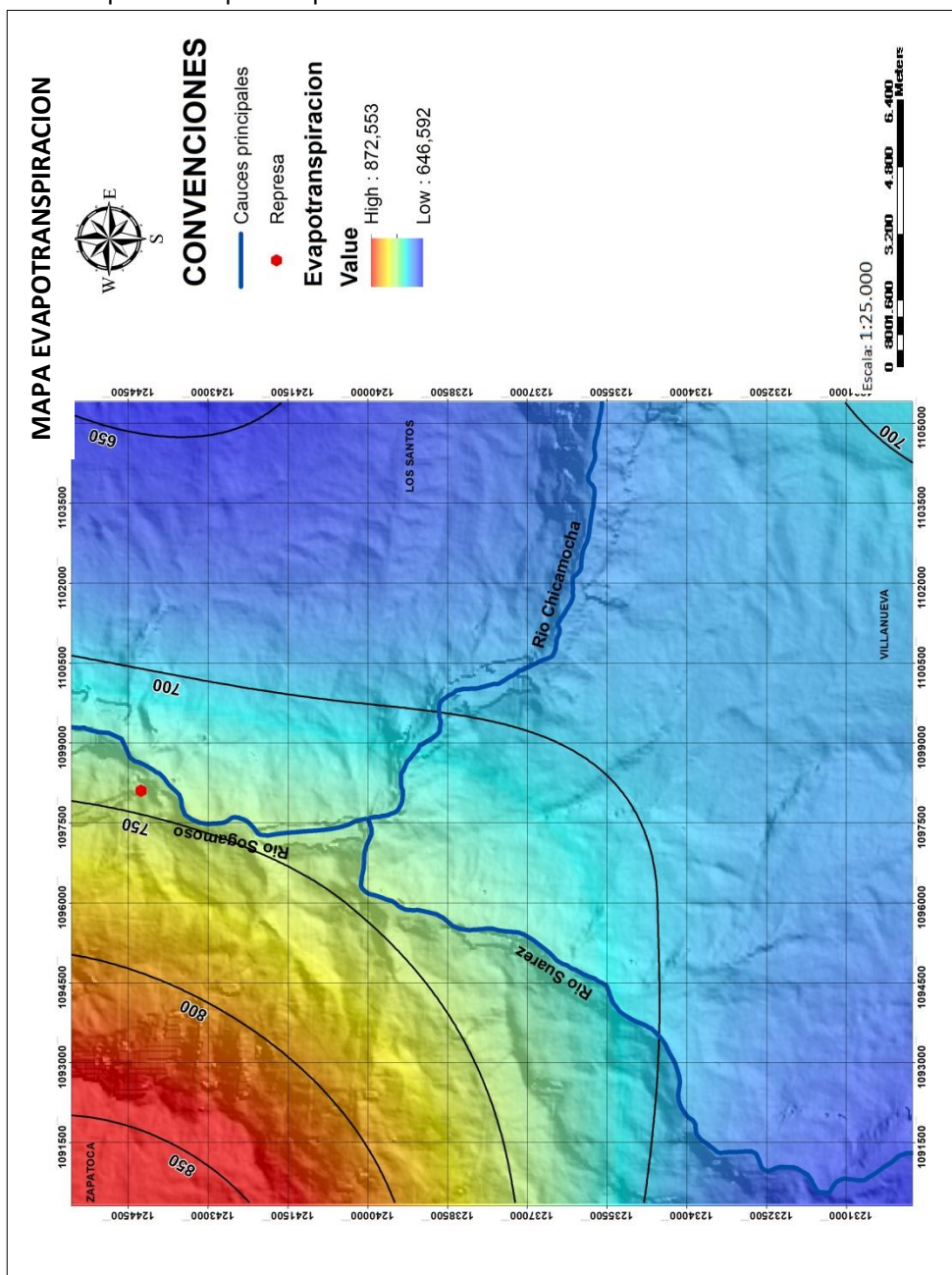
Imagen 25. Flujo de Modelamiento Para Generar Mapa de Evapotranspiración



Fuente: Autores

La evapotranspiración en la zona de estudio se encuentra valores mínimos de 850 mm/año hacia el sureste del municipio de Zapatoca y valores máximos de 1550 mm/año hacia el municipio de la mesa, en la parte central de la zona, en las intersecciones de los ríos Suarez y Chicamocha se presenta valores de evapotranspiración de 1300 mm/año.

Imagen 26. Mapa de Evapotranspiración Potencial



Fuente: Autores

7.5.2 Evapotranspiración Media

Para obtener este parámetro se realizó con base a la metodología de Blaney y Criddle. Estos valores se hallaron siguiendo la siguiente ecuación, ya que con el resultado se realiza el balance hídrico anual de la zona de estudio.

$$ETP = p(0.46 * T_{min} + 8.13)$$

Dónde:

ETP: Evapotranspiración potencial mm/día

T_{min}: Temperatura Diaria Mínima °C

p= Porcentaje horas de luz solar según latitud 6

El valor estimado corresponde a 819 mm, tomando una temperatura mínima de 17 °C

7.5.2 Evapotranspiración Real Anual

Es la evapotranspiración que ocurre en condiciones reales, teniendo en cuenta que no siempre la cobertura vegetal es completa ni el suelo se encuentra en estado de saturación.

Los valores correspondientes a Evapotranspiración Potencial Anual se hallaron aplicando la metodología de Turc, quien determinó empíricamente comparando las precipitaciones y la escurrimiento total de numerosas cuencas; esta se describe a continuación.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + P/L^2}}$$

$$L = 300 + 25 T + 0.05 T^3$$

Donde se tienen los parámetros de precipitación media en mm/año (P) y temperatura media anual (°C) y la constante de Turc. (L)

En la siguiente tabla se muestran los valores de ETR desde el año 1975 hasta 2015, en las tres subcuencas analizadas, se presenta mayor ETR en la subcuenca de Río Suarez.

Tabla 20. Valores de Evapotranspiración Anual

AÑO	TABLA EVAPOTRASPIRACION ANUAL 1975-2015								
	PRECIPITACION TOTAL mm/año			TEMPERATURA MEDIA °C			ETR- TURC (mm/año)		
	Subcuenca Rio Sogamoso	Subcuenca Rio Chicamocha	Subcuenca Rio Suarez	Subcuenca Rio Sogamoso	Subcuenca Rio Chicamocha	Subcuenca Rio Suarez	Subcuenca Rio Sogamoso	Subcuenca Rio Chicamocha	Subcuenca Rio Suarez
1975	1070,7	820	1704	18	24,3	22,9	1128,00	864,21	1795,39
1976	1455,4	1178	1470	18,2	24,3	22,9	1533,02	1241,41	1548,93
1977	1169,5	967	1643	17,6	24,3	22,9	1231,98	1019,10	1731,15
1978	1096,7	890	1306,5	17,9	24,3	22,9	1155,37	937,97	1376,71
1979	1158,9	1054	1627	18,5	24,3	22,9	1220,91	1110,77	1714,29
1980	1743,9	1141	1965,5	18,5	24,3	22,9	1836,70	1202,43	2070,78
1981	2131,8	1006	1480	18,2	24,3	22,9	2244,73	1060,19	1559,47
1982	1538,5	1406	2055	18,6	24,3	22,9	1620,55	1481,62	2165,02
1983	1251,3	1114	1755	18,3	24,3	22,9	1318,18	1173,98	1849,10
1984	1254	1076	2356	18,3	24,3	22,9	1321,02	1133,95	2481,95
1985	1148,4	1480	1620	19,3	24,3	22,9	1209,93	1559,57	1706,92
1986	1279,7	891	1364	18,1	24,3	22,9	1348,05	939,02	1437,28
1987	1302	1205	2926	18,2	23,7	22,9	1371,54	1269,83	3081,97
1988	1377,8	935	1347	18,3	23,7	22,9	1451,35	985,37	1419,37
1989	1393,9	979	2181	19,4	23,7	22,9	1468,44	1031,73	2297,69
1990	1092,5	760	1202	18,9	23,7	22,9	1151,03	800,97	1266,63
1991	1190	861	1560	18,7	23,7	22,9	1253,68	907,39	1643,73
1992	1262,5	659	1136	19	23,7	22,9	1330,05	694,54	1197,10
1993	992,4	1382	1070	18,7	23,7	22,9	1045,60	1456,30	1127,57
1994	916,3	949	938	19,1	23,7	22,9	965,48	1000,12	988,50
1995	1259,4	1206	1512	18,8	23,7	23,6	1326,76	1270,88	1593,23
1996	1337,6	980	2339	18,7	23,7	23,6	1409,08	1032,78	2464,19
1997	2585	1017	1443	18,6	23,7	23,6	2721,52	1071,76	1520,55
1998	953	780	1458	18	25	23,6	1004,06	822,07	1536,35
1999	1260,7	859	2422	19	25	23,6	1328,15	905,32	2551,58
2000	1423,2	1015	1727	19,3	25	23,6	1499,28	1069,70	1819,69
2001	1305,1	1634	1155	19	25	23,6	1374,90	1721,85	1217,15
2002	1231,9	960	1296	18,9	25	23,6	1297,82	1011,74	1365,69
2003	1099,9	889	1719	19,2	25	23,6	1158,85	936,93	1811,26
2004	1506,1	929	1158	19,3	25	23,6	1586,55	979,08	1220,31
2005	1092	883	1314	19,1	25	23,6	1150,52	930,61	1384,66
2006	2379,4	1014	1190	18,9	25	23,6	2505,42	1068,64	1254,02
2007	1351,2	847	1927,1	18,7	25	23,6	1423,40	892,67	2030,43
2008	999,96	835,1	1608,7	18,5	25	25	1053,55	880,13	1695,20
2009	1074,2	847,8	1503	18,6	25	25	1131,73	893,52	1583,85
2010	1198,1	695,5	1158	18,1	25	25	1262,15	733,02	1220,37
2011	1582,3	1164,5	2199	18,7	25	25	1666,67	1227,22	2316,98
2012	1533	778,8	2106	18,8	25	25	1614,79	820,81	2219,03
2013	1513,8	747,6	1361	18,2	25	25	1594,48	787,93	1434,25
2014	1092,9	545,8	1202	18,5	25	25	1151,42	575,26	1266,73
2015	1088,3	630,9	1248	19,4	25	25	1146,64	664,95	1315,19
							1405,20	1028,47	1689,76

Fuente: Autores

7.6 ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

La escorrentía superficial describe el flujo del agua, lluvia, u otras fuentes, sobre la tierra, y es un componente principal del ciclo del agua. A la escorrentía que ocurre en la superficie antes de alcanzar un canal. ²⁸

La escorrentía anual se determinó mediante el método de número curva (Soil Conservation Service), en el cual se tienen en cuenta las coberturas del área e estudio y su clasificación. La ecuación empleada es la siguiente:

$$Q = (P - 0.2 S)/(P + 0.8 S)$$

Donde:

Q: Escorrentía mm/año

P: Precipitación media mm/año

S= capacidad de potencial de lluvia a retener por la cuenca (25400/CN) - 254

CN= Numero de Curva

El parámetro de número de curva se extrajo de tablas en función del Corine Land Cover, se muestra a continuación los valores para las coberturas en el área de estudio.

Tabla 21. Clasificación Hidrológica De La Vegetación

TIPO DE VEGETACION	CLASE HIDROGEOLOGICA			
	A	B	C	D
Zona de Bosque	40	60	70	76
Afloramiento Rocoso	93	93	93	93
Bosque Fragmentado	25	55	70	77
Mosaico de Pastos y Cultivos	49	69	79	84
Tierras Desnudas y Degradadas	76	88	88	91
Zonas Urbanizadas	68	78	86	89

Fuente: Valores del Número de Curva en función de la clasificación Corine Land Cover 2000

²⁸ LONDOÑO., OP. Cit., p. 34

En el área de acuerdo a la cobertura vegetal se estableció que las condiciones hidrogeológicas a las que pertenecen son clase B y C.

El grupo B corresponde a suelos de moderada permeabilidad cuando están saturados comprendiendo los terrenos arenosos menos profundos, también de textura franco-arenosos de mediana profundidad.

El grupo C incluye los suelos de poca permeabilidad cuando están saturados, por presentar un estado impermeable que dificulta la infiltración, o porque en conjunto, su textura es franco arcilloso o arcilloso.²⁹

De acuerdo a estas especificaciones se procedió a evaluar el parámetro de la escorrentía, calculando el número de curva empleando la siguiente ecuación.

$$NC = C.Hidrogeologia \times \% Area$$

Se muestra en la tabla 21 los valores correspondientes al área de cobertura vegetal en el área y el valor de CN.

Tabla 22. Calculo de Valor de Número de Curva

TIPO DE VEGETACION	CLASE HIDROGEOLOGICA				AREA (Km ²)	% AREA	NC
	A	B	C	D			
Zona de Bosque y Ripario	40	60	70	76	8.70	0.042	2.544
Afloramiento Rocoso	93	93	93	93	34.8	0.170	15.77
Bosque Fragmentado	25	55	70	77	121.4	0.592	41.42
Mosaico de Pastos y Cultivos	49	69	79	84	41.14	0.201	15.84
Tierras Desnudas y Degradadas	76	88	88	91	33.77	0.165	14.48
Zonas Urbanizadas	68	78	86	89	0.14	0.001	0.053
							74.34

Fuente: Autores

²⁹ S.Ibañez, H. Moreno, J. Gisbert, Valores de numero de curva, cálculo de la escorrentía, Escuela Técnica superior de Ingeniería, Universidad Politécnica de Valencia.

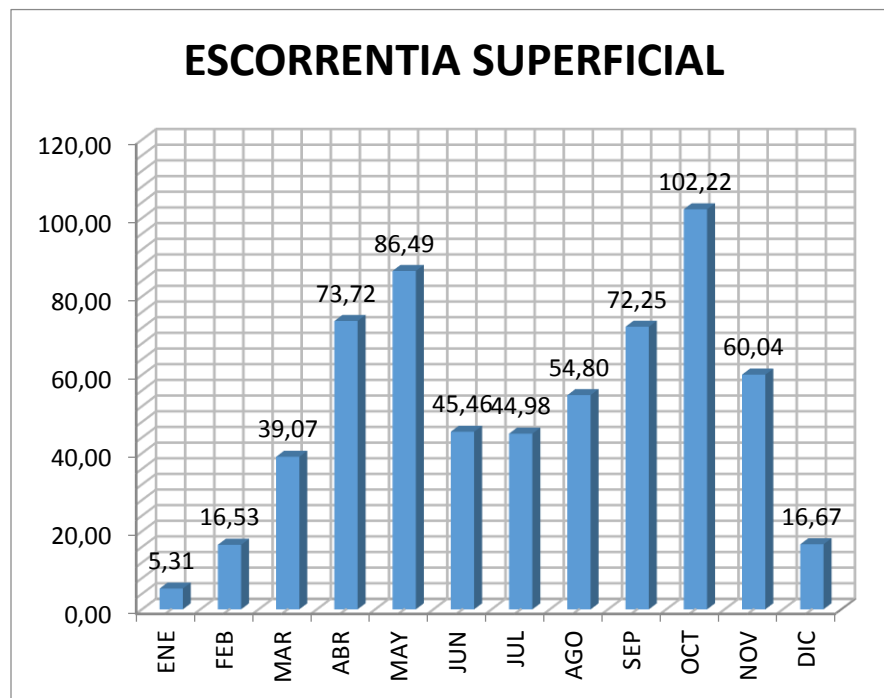
Con el valor del número de curva se reemplazó en la ecuación antes mostrada, obteniendo un valor para la capacidad de potencia de lluvia (S) de 87.63, y un valor de escorrentía de 617 mm/año en el área de estudio, como se observa en la tabla 22 y su correspondiente gráfica.

Tabla 23. Valor de Escorrentía en la Zona de Estudio.

PARAMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Precipitacion	41,9	64,7	98,8	142,8	158,0	107,3	106,7	119,4	141,0	176,2	126,0	65,0
CN	74,35	74,35	74,35	74,35	74,35	74,35	74,35	74,35	74,35	74,35	74,35	74,35
S	87,63	87,63	87,63	87,63	87,63	87,63	87,63	87,63	87,63	87,63	87,63	87,63
Q	5,31	16,53	39,07	73,72	86,49	45,46	44,98	54,80	72,25	102,22	60,04	16,67

Fuente: Autores

Gráfico 12. Histograma de Frecuencia de Escorrentía Superficial en la zona



Fuente: Autores

7.7 INFILTRACIÓN

La cantidad de agua que atraviesa la superficie del terreno por unidad de tiempo y se desplaza al subsuelo recibe el nombre de ritmo o tasa de infiltración. Si el agua que se introduce al terreno por la superficie se desplaza a mayor profundidad, entonces se dice que ocurre la percolación. Un porcentaje del agua infiltrada podrá desplazarse en forma lateral a través del material dispuesto abajo de la superficie del terreno, a lo que se denomina interflujo o flujo subsuperficial.³⁰

Calculo de la Infiltración

Para determinar el valor de la infiltración se utilizó la formula general de balance general, debido a su complejidad al momento de evaluar, para su medición existen directos e indirectos, las mediciones directas se realizan mediante infitrometros, los métodos indirectos permiten obtener un valor aproximada a la medición directa.

La medición indirecta consiste en calcular la infiltración a través de los otros factores hidrogeológicos del balance como la precipitación (P), evapotranspiración (Et) y escurrentía (R), despejando el parámetro (I) de la ecuación de la siguiente manera:

$$P = R + I + ETR$$

$$I = P - R - ETR$$

Reemplazando en la formula se obtiene:

$$I = 1506 - 617 - 819$$

$$I = 70 \text{ mm/año}$$

El volumen de agua infiltrado (V) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V = A \cdot I$$

Donde:

A: Área de la zona de estudio m²

I: Infiltración en m/año

$$V: 240000 \text{ m}^2 \cdot 0,07 \text{ m/año}$$

$$V = 16800 \text{ m}^3/\text{año}$$

³⁰ MONSALVE G. Hidrología en la Ingeniería, segunda Edición. Capítulo 2, Pag 129

7.8 BALANCE HIDRICO

El balance hídrico tiene como objetivo analizar volúmenes de agua que entran y salen en el área de estudio, se muestran valores de la capacidad de campo del suelo y sus variaciones, estos parámetros se tienen en cuenta para la realización de una obra ingenieril, ya que nos indica el posible estado del suelo con relación a los factores hídricos.³¹

Se obtuvo el grafico y tabla correspondiente al balance, esta da información sobre la reserva o almacenamiento de agua útil en el campo (**AAU**) que es agua o la humedad luego de haber sido saturado o mojado abundantemente y después haberlo dejado drenar libremente y la variación de este almacenamiento (**VAAU**) que indica la reposición de humedad (Valores positivos de VAAU) y Humedad de suelo utilizada (Valores negativos de VAAU).

Tabla 24. Balance Hídrico

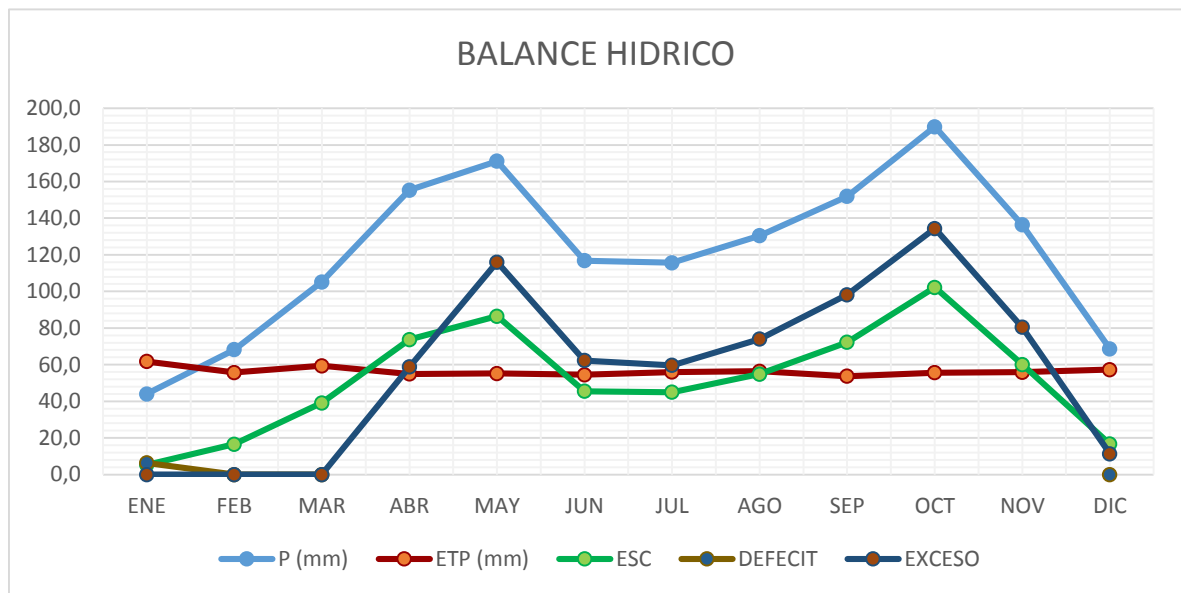
BALANCE HIDRICO												
MES/PARAMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P (mm)	44,0	68,2	105,2	155,3	171,2	116,8	115,6	130,4	151,9	190,0	136,3	68,6
ETP (mm)	61,72	55,69	59,36	54,94	55,18	54,53	56,00	56,43	53,73	55,59	55,93	57,32
Δ	-17,69	12,53	45,82	100,40	115,97	62,26	59,62	73,99	98,18	134,37	80,41	11,31
ESCORRENTIA	5,31	16,53	39,07	73,72	86,49	45,46	44,98	54,80	72,25	102,22	60,04	16,67
AAU	0,00	12,53	51,60	100	100	100	100	100	100	100	100	100
VAU	100	-12,53	-45,82	-41,65	0	0	0	0	0	0	0	0
DEFECIT	6,38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EXCESO	0	0	0	58,75	115,97	62,26	59,62	73,99	98,18	134,37	80,41	11,31
ETR	144	55,69	59,39	54,94	55,18	54,53	56	56,43	53,73	55,59	55,93	57,39

Fuente: Autores

En la gráfica 13 se logra observar el comportamiento bimodal de la zona, con buen almacenamiento de agua útil y presentando déficit el comienzo del año, en los meses de abril a diciembre se presenta un exceso ya que lo que se espera que salga del sistema es la precipitación y en este caso se queda, los valores negativos en la variación de almacenamiento en los meses de febrero, marzo y abril indican una pérdida o gasto de humedad del suelo. Se graficó el valor de la escorrentía para mostrar su comportamiento respecto a los demás parámetros, logrando observar que presenta una relación directamente proporcional a la cantidad de precipitación en el área.

³¹ SOKOVO A. y CHAPMAN T., Op.,cit. P. 25

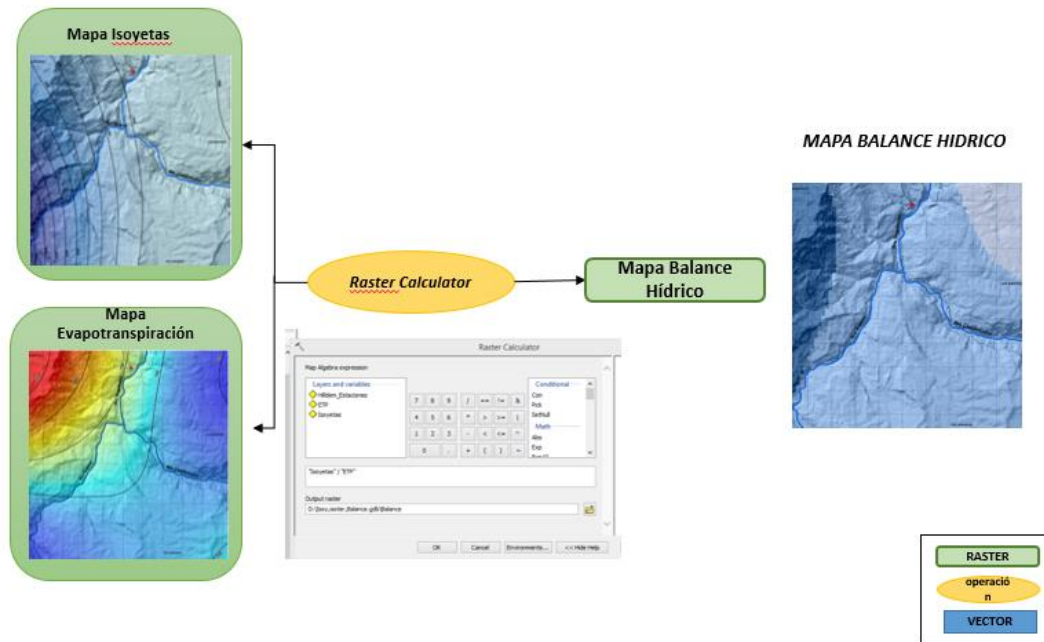
Grafico 13. Balance Hídrico



Fuente: Autores

Con los datos suministrados por el IDEAM (Precipitación y Temperatura) y los encontrados mediante ecuaciones (Escorrentía y Evapotranspiración), se procesaron en el software ArcGis 10.2 para elaborar el mapa final de balance hídrico, fue necesario utilizar los mapas de isoyetas y evapotranspiración realizados anteriormente, con los cuales se efectúa la fórmula de P/ETP mediante la herramienta contenida en la caja de herramientas Spatial Analys Tools- Map Algebra - raster calculator en donde se muestra un estimativo del comportamiento en el área representado por la escala de colores que indica las variaciones, al realizar la interpolación se hace tomando como referencia el valor de uno, en donde las tonalidades de azul representan la siguiente clasificación: los valores por debajo de uno con tonalidad azul muy clara, indican déficit hídrico, los valores mayores a uno con un color azul oscuro representan un exceso hídrico y valores iguales a uno, indican un equilibrio hídrico.

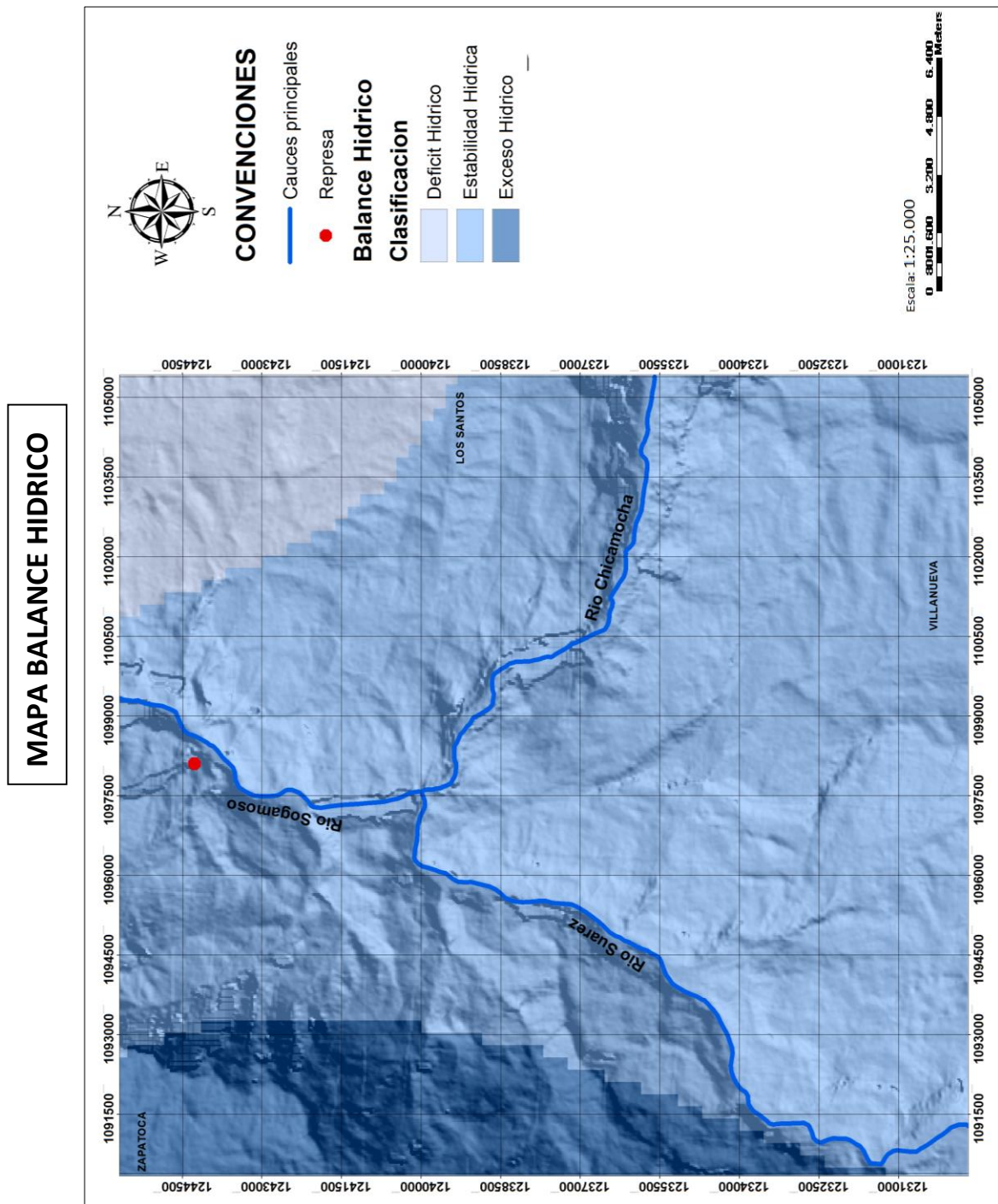
Imagen 27. Flujo de Modelamiento Para Generar Mapa de Balance Hídrico



Fuente: Autores

Se muestra el mapa de balance hídrico, existe una amplia área con equilibrio hídrico, en la parte central del mapa en las intersecciones de los tres ríos principales siendo beneficioso para la construcción de la represa, un exceso hídrico hacia el límite con el municipio de Zapatoca y un déficit hídrico hacia el municipio de Mesa.

Imagen 28. Mapa Balance Hídrico de Zona de Estudio



Fuente: Autores

7.9 CAUDAL

El termino caudal en hidrografía e hidrología, al volumen de agua que circula por el cauce de un río en un lugar y tiempo determinados.³² Se refiere fundamentalmente al volumen hidráulico de la esorrentía de una cuenca hidrográfica concentrada en el río principal de la misma. Suele medirse en m³/seg lo cual genera un valor anual medido en m³ o en Hm³ (hectómetros cúbicos: un Hm³ equivale a un millón de m³) que puede emplearse para planificar los recursos hidrológicos y su uso a través de embalses y obras de canalización.

Para el análisis de caudal se utilizaron los datos meteorológicos suministrados por el IDEAM, de las estaciones más cercanas a los ríos principales en el área de estudio:

Tabla 25. Estaciones de Caudal para Análisis

ESTACIONES DE CAUDAL			
NOMBRE ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTURA
24037360 El Jordán	6° 40'30" N	73° 05' 6" W	480 m.s.n.m
24047020 Remolino	6° 36" N	73° 16" W	535 m.s.n.m

Fuente: IDEAM

Con estas dos estaciones se tienen una serie de datos de 40 años de caudales de los ríos Chicamocha y Suarez, ya que no se encuentran registros de caudal cercanos

7.9.1 Caudal Medio

Para el cálculo de este parámetro se empleó la media aritmética ya que se cuenta con una serie de datos de 40 años y que incluyan variaciones cíclicas húmedas y secas. La fórmula para hallar el caudal medio está definida de la siguiente manera:

$$Q = 1/n \sum_{i=1}^n Qi$$

Donde:

Q: Caudal Medio

N: Número de Estaciones Registradas

Qi: Sumatoria de Valores de Caudales

³² SOKOVO A. y CHAPMAN T ., Op.,cit. P. 34

Los caudales medios de las estaciones fueron hallados para cada uno de los ríos, el valor medio mensual anual el de 102.92 m³/s y el valor medio anual para el río Chicamocha es de 1200.29 m³/año, y para el río Suarez el valor medio mensual anual es de 300,95 m³/s, y el valor anual 3557 m³/año.

Para calcular el caudal medio anual de una región donde no se cuenten datos de aforos, se utiliza un método analítico en el cual se utiliza los datos de precipitación y caudal de cuencas afines en topografía, ubicación cercana, vegetación, formaciones, red hídrica y clima,³³ empleando la siguiente ecuación donde relacionan los valores de la cuenca del río Chicamocha y la del Río Sogamoso:

$$Q = Q_{ca} \frac{P'}{P_{ca}}$$

Donde Q_{ca} y P_{ca} es el caudal de la cuenca y precipitación de la cuenca afín y P' precipitación de la cuenca sin datos de aforos de caudal.

El valor estimado de caudal medio mensual en el Río Sogamoso es de 141,18 m³/s y un caudal medio anual de 1711,70 m³/año.

7.9.2 Análisis de Caudales

Es importante saber la distribución de los caudales en el área, es por esto que se muestra las gráficas de los caudales mínimos, medios y máximos que se podrían encontrar en los ríos y su variación mensual.

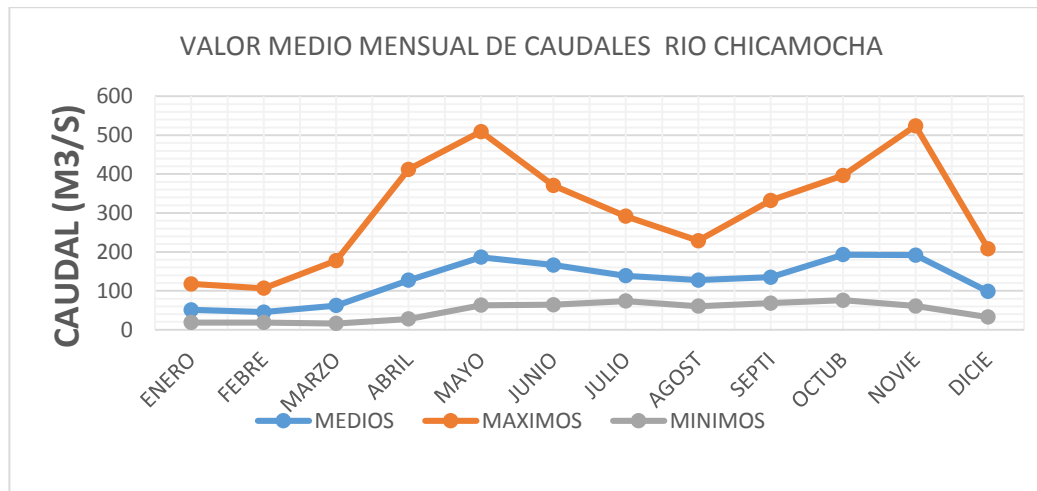
Tabla 26. Valores Medios Mensuales de Caudales

VALOR MEDIO MENSUAL DE CAUDALES RIO CHICAMOCHA													
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	ANUAL
MEDIOS	51,0	45,1	62,0	127,3	186,5	166,2	138,6	127,5	135,0	192,9	191,6	98,3	126,8
MAXIMOS	117,5	106,4	177,7	411,9	509,1	370,7	291,7	228,7	332,2	396,4	524,1	208	524,1
MINIMOS	18,52	18,5	16,08	27,46	63	64,05	73,47	60,66	68,3	75,54	60,95	32,32	16,08

Fuente: Suministro Valores IDEAM

³³ SOKOVO A. y CHAPMAN T., Op.,cit. P. 42

Grafico 14. Grafica de Valor Medio Mensual de Caudales Río Chicamocha



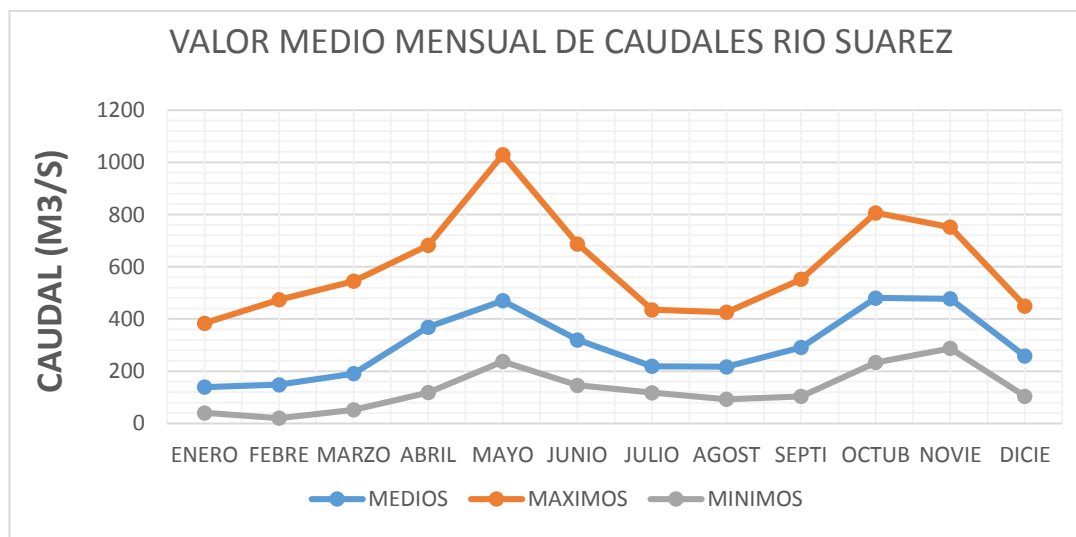
Fuente Autores

Tabla 27. Valor Medio Mensual Río Suarez

VALOR MEDIO MENSUAL DE CAUDALES RIO SUAREZ													
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	ANUAL
MEDIOS	139,5	148,5	190,6	369,3	470,0	320,3	218,9	217,1	291,5	480,6	477,3	258,4	298,5
MAXIMOS	383,7	474	544,7	682,2	1029	687,6	435,5	426,1	552,5	806,5	752,1	449,7	1029
MINIMOS	40,49	20,61	52,1	118,3	237,1	146	118,1	93	104,1	233,7	287,3	104,7	20,61

Fuente: Suministro Valores IDEAM

Grafico 15. Valor Medio Mensual de Caudales Río Suarez



Fuente: Autores

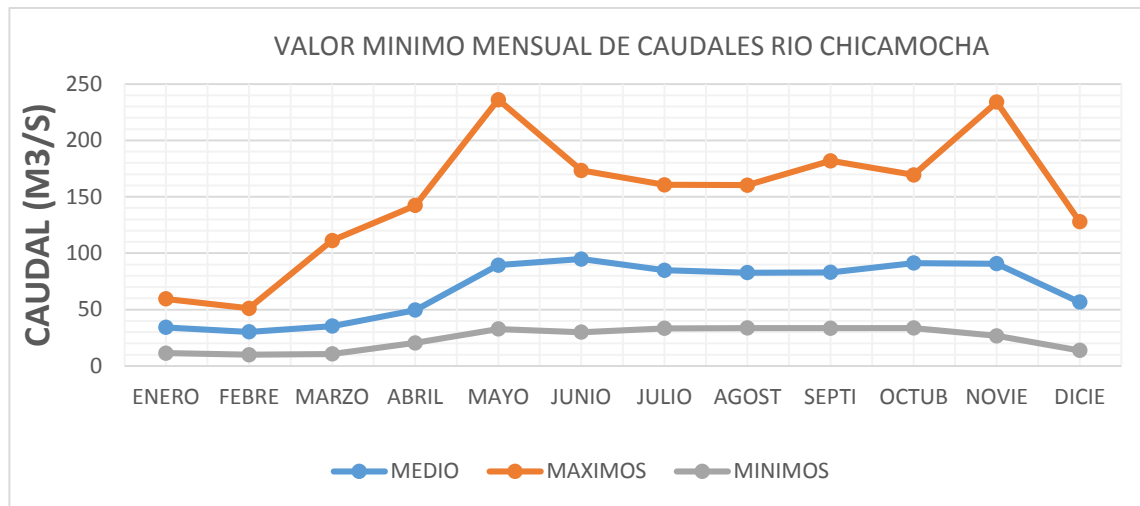
El caudal ecológico se estima como los caudales medios de los caudales mínimos mensuales, el cual se define como el caudal requerido para el sostenimiento del ecosistema, la flora y la fauna de la corriente hídrica.

Tabla 28. Valores Caudal Mínimo y Caudal Ecológico Rio Chicamocha

VALOR MINIMO MENSUAL DE CAUDALES RIO CHICAMOCHA													
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	ANUAL
MEDIOS	34,2	30,2	35,4	49,5	89,4	94,8	84,8	82,6	83,0	91,3	90,6	56,6	68,5
MAXIMOS	59,5	51,02	111,2	142,3	236	173,4	160,6	160,3	181,9	169,4	234	128	236
MINIMOS	11,4	10	10,6	20,4	32,71	30	33,3	33,68	33,5	33,68	26,7	13,8	10

Fuente: Suministro Valores IDEAM

Grafico 16. Grafica Valor Mínimo Mensual de Caudal Rio Chicamocha



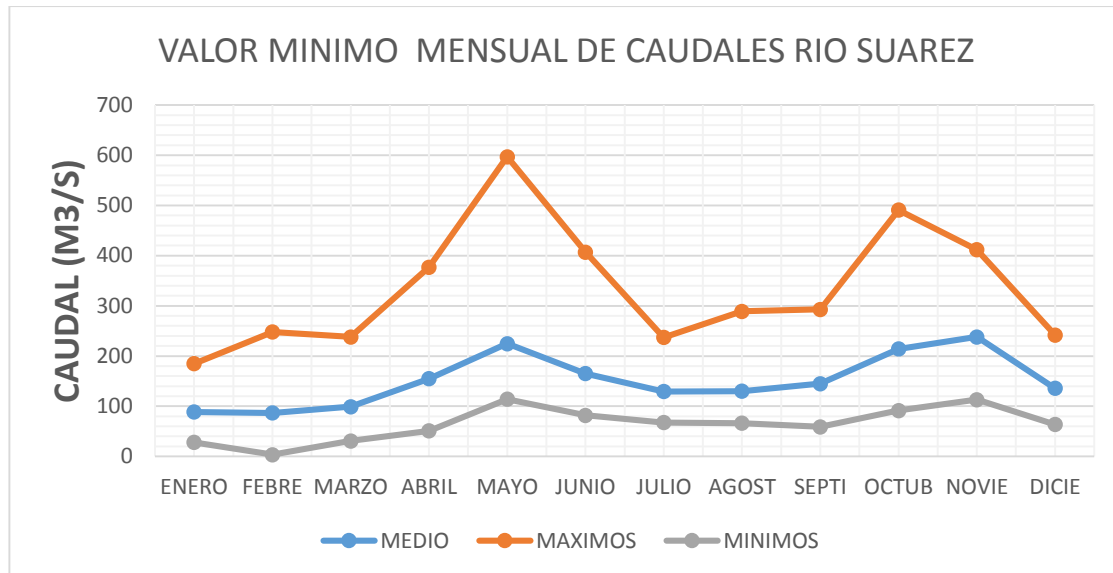
Fuente: Autores

Tabla 29. . Valores Caudal Mensual Mínimo del Rio Suarez

VALOR MINIMO MENSUAL DE CAUDALES RIO SUAREZ													
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	ANUAL
MEDIOS	85,5	90,3	145,7	207,9	153,5	115,7	120,3	129,2	191,5	212,8	122,5	88,5	138,6
MAXIMOS	185	248	238	377	597	407	237	289	293	491	412	242	597
MINIMOS	27,9	4	31	51	114	82	67,4	66,2	59	91,5	113	63,8	3,6

Fuente: Tomados Valores del IDEAM

Grafico 17. Grafica Valor Mínimo Mensual del Rio Suarez



Fuente: Autores

7.9.3 Caudal Mínimo y Ecológico

Para el análisis del caudal ecológico de la zona de estudio se toman los caudales medios de los valores del caudal mínimo mensual y se relacionan con el caudal de diseño que este caso es de 39.35 m³/s el cual fue determinado de acuerdo a los valores de caudales máximos registrados en el área y sugerido por la empresa , determinando así q en este caso que en los meses de enero febrero y marzo los cuales corresponden al periodo seco , se presentan un 13.35%, 23.8% y 10.3% respectivamente por debajo del caudal de diseño, y estableciendo un promedio anual de 173,41%.

Tabla 30. Valores Medios, Mínimos Mensuales de Caudales Rio Chicamocha

VALOR MINIMO MENSUAL DE CAUDALES RIO CHICAMOCHA													
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	ANUAL
MEDIOS	34,2	30,2	35,4	49,5	89,4	94,8	84,8	82,6	83,0	91,3	90,6	56,6	68,5
MAXIMOS	59,5	51,02	111,2	142,3	236	173,4	160,6	160,3	181,9	169,4	234	128	236
MINIMOS	11,4	10	10,6	20,4	32,71	30	33,3	33,68	33,5	33,68	26,7	13,8	10

Fuente: Autores

Para efecto del cálculo del caudal ecológico, se toma los caudales medios de los caudales mínimos mensuales, con un valor de 10.53 m³/s

Cabe resaltar que para los meses secos (Enero, Febrero y Marzo) se prevé la construcción de dos unidades de generación, de manera que se pueda suspender una unidad en estos meses, en los que el caudal no supere el caudal de diseño (39.35 m³/s) y así garantizar siempre el caudal ecológico en el área.

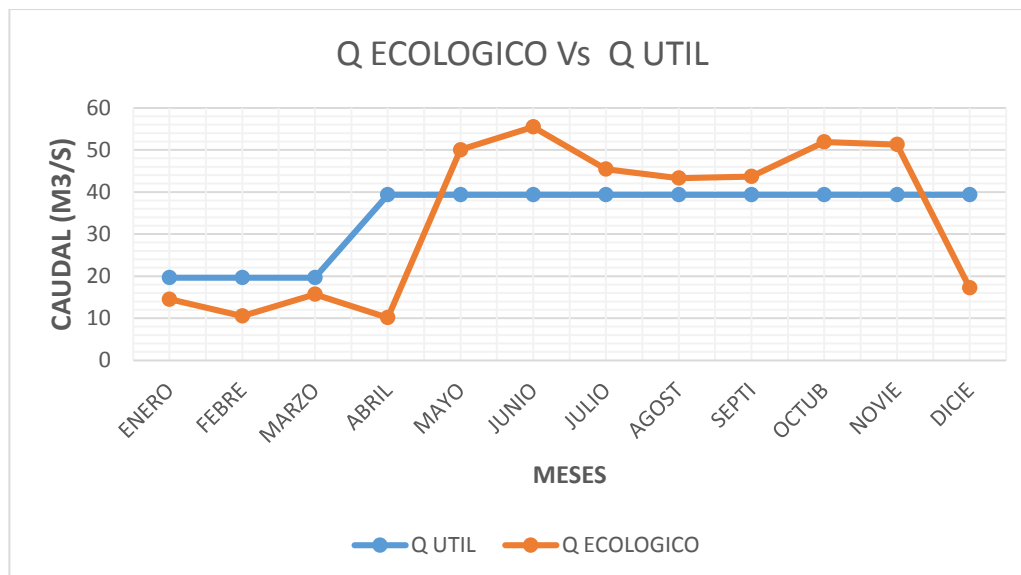
Tabla 31. Caudal Ecológico en el Área

CAUDAL ECOLOGICO DEL AREA												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC
MEDIOS	34,18	30,18	35,36	49,48	89,37	94,80	84,79	82,64	83,02	91,26	90,62	56,61
Q UTIL	19,65	19,65	19,65	39,35	39,35	39,35	39,35	39,35	39,35	39,35	39,35	39,35
Q ECOLOGICO	14,53	10,53	15,71	10,13	50,02	55,45	45,44	43,29	43,67	51,91	51,27	17,26

Fuente: Autores

En la gráfica se logra observar la relación de caudal útil determina la capacidad de regulación de un embalse, se relaciona con el caudal máximo o de diseño y con el caudal ecológico.

Grafico 18. Caudal Ecológico Vs Caudal Útil



Fuente: Autores

7.10 ÍNDICE DE ESCASEZ

Este índice constituye la principal herramienta para evaluar si el recurso hídrico de una región o área hidrográfica es suficiente o deficitario, para calcular este índice fue necesario emplear una ecuación en donde se relacionaba la oferta hídrica representada por la esorrentía en esta caso el caudal anual del área ya que se cuenta con un registro histórico considerable y la demanda de agua del sector, en este caso tomado de la demanda hídrica del municipio de los Santos que es donde se construirá la represa.³⁴

$$I_e = \frac{Dh}{Oh} * 100$$

Donde:

Dh: Demanda Hídrica en m³ corresponde a 108000 m³

Oh: Oferta Hídrica en m³ corresponde a 2378000 m³

El valor del índice de escasez es de 4.55 % que se encuentra enmarcado dentro de la siguiente clasificación dentro de cinco categorías:

Tabla 32. Clasificación de Índices de Escasez

INDICE DE ESCASEZ		
Alto	>50%	Demanda Alta
Medio Alto	21-50%	Demanda Apreciable
Medio	11-20 %	Demanda Baja
Mínimo	1-10 %	Demanda muy Baja
No Significativo	<1	Demanda no Significativa

Fuente: Instituto de Meteorología y Estudios Ambientales

³⁴ RIVERA H, MARIN R, VANEGAS R. Metodología de Cálculo de Índice de Escasez, Instituto de Meteorología Y estudios Ambientales- 2004. Pag 34

7.10 PERIODOS DE RETORNO

Es importante además de cuantificar la lluvia que cae, poder predecir cuanto podrá caer en un futuro, cuál puede ser la máxima precipitación y en que un evento es igualado o superado por lo menos una vez, es decir que una lluvia sea mayor o igual que un valor determinado. El grado de magnitud de un fenómeno extremo está relacionado de forma inversa con su frecuencia de ocurrencia, las precipitaciones muy intensas ocurren con una frecuencia menor que las moderadas o débiles.³⁵

Para la determinación y predicción de los periodos se realiza mediante conceptos probabilísticos, se utilizaron los datos máximos de precipitación en 24 horas, debido a que en aguaceros torrenciales aumenta la escorrentía y caudal, donde las obras hidráulicas captan máximas avenidas en los meses de máxima precipitación.

Para el cálculo de los periodos de retorno de 2,5,10,25,50 y 100 años, fue necesario aplicar fórmulas de distribución probabilísticas de Gumbel ³⁶ como la media, varianza y covarianza de los datos suministrados. Se obtienen las tablas de intensidad de lluvias según periodos de retorno y tablas de intensidad duración con respectiva gráfica. A continuación se muestra la tabla de periodos de retorno con las precipitaciones máxima por tiempos de duración.

Tabla 33. Periodos de Retorno de 5,10,25,50 y 100 años- precipitaciones máximas

Tiempo de	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración					
Duración	2 Años	5 Años	10 Años	25 Años	50 Años	100 Años
24 hr	14,645	36,595	51,127	69,489	83,111	96,632
18 hr	13,327	33,301	46,526	55,591	75,631	87,935
12 hr	11,716	29,276	40,902	55,591	66,489	77,306
8 hr	9,959	24,884	34,767	47,253	56,515	65,710
6 hr	8,934	22,323	31,188	42,388	50,698	58,946
5 hr	8,348	20,859	29,143	39,609	47,373	55,080
4 hr	7,616	19,029	26,586	36,134	43,218	50,249
3 hr	6,737	16,834	23,519	31,965	38,231	44,451
2 hr	5,712	14,272	19,940	27,101	32,413	37,686
1 hr	4,394	10,978	15,338	20,847	24,933	28,990

Fuente: Autores

³⁵ LOZANO J, VARGAS V, ROMERO M. Return periods of torrential rains for the state of Tamaulipas, Mexico- 2006

³⁶ BETAMAN A. Hidrología Básica y Aplicada. Capítulo 1. Pag 35

Se muestra en la tabla 33, la intensidad de lluvia según el periodo de retorno, para el cálculo de estos valores de empleo la fórmula:

$$I = P(mm)/Tduracion(hr)$$

Se debe tener en cuenta que cuando una lluvia es intensa su duración es baja, en cambio cuando la lluvia es de baja intensidad su duración es más prolongada, estas dos variables se relacionan una respecto a la otra de forma inversa. La intensidad de lluvia es mayor a mayor periodo de retorno, es decir cuando el intervalo escogido es cada vez mayor.

Tabla 34. Intensidad de Lluvia Según Periodos de Retorno

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno					
Hr	min	2 Años	5 Años	10 Años	25 Años	50 Años	100 Años
24 hr	1440	0,610	1,525	2,130	2,895	3,463	4,026
18 hr	1080	0,740	1,850	2,585	3,088	4,202	4,885
12 hr	720	0,976	2,440	3,408	4,633	5,541	6,442
8 hr	480	1,245	3,111	4,346	5,907	7,064	8,214
6 hr	360	1,489	3,720	5,198	7,065	8,450	9,824
5 hr	300	1,670	4,172	5,829	7,922	9,475	11,016
4 hr	240	1,904	4,757	6,647	9,034	10,804	12,562
3 hr	180	2,246	5,611	7,840	10,655	12,744	14,817
2 hr	120	2,856	7,136	9,970	13,550	16,207	18,843
1 hr	60	4,394	10,978	15,338	20,847	24,933	28,990

Fuente: Autores

En la siguiente tabla y grafica se ilustra bien el régimen de intensidad respecto a un tiempo en minutos determinado, en donde hay más probabilidad de presentarse crecientes y aumento considerable de agua en unas pocas horas y minutos.

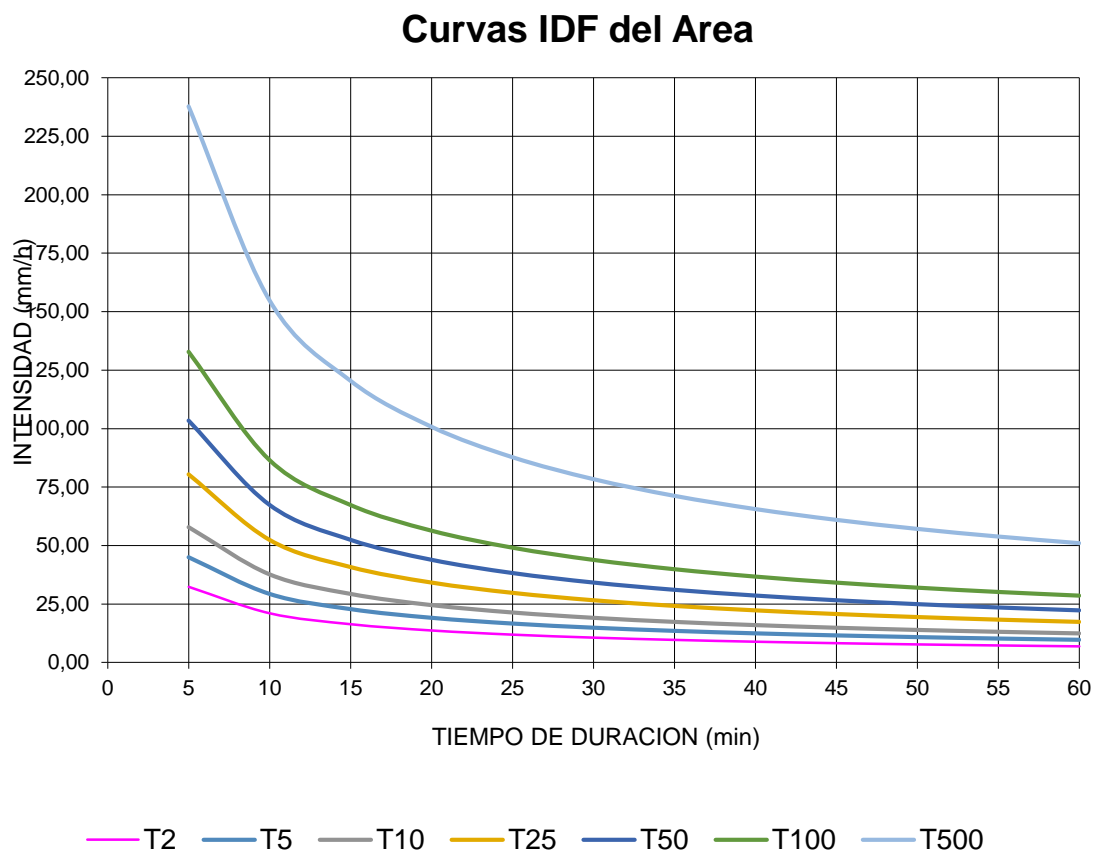
Tabla 35. Intensidad y Tiempo de Duración

Tabla de intensidades - Tiempo de duración												
Frecuencia	Duración en minutos											
	años	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
2		32,3	21,04	16,37	13,7	11,93	10,66	9,69	8,92	8,29	7,77	6,94
5		44,99	29,3	22,79	19,08	16,62	14,84	13,49	12,42	11,55	10,82	9,67
10		57,8	37,64	29,29	24,51	21,35	19,07	17,34	15,96	14,84	13,9	12,42
25		80,5	52,42	40,79	34,13	29,73	26,56	24,14	22,23	20,67	19,36	17,3
50		103,42	67,35	52,4	43,85	38,2	34,12	31,02	28,56	26,55	24,87	22,22
100		132,87	86,52	67,32	56,34	49,08	43,84	39,85	36,69	34,11	31,96	28,55
500		237,74	154,81	120,46	100,81	87,81	78,44	71,3	65,65	61,03	57,18	51,08

Fuente: Autores

Se construye con los datos anteriores las curvas de intensidad de frecuencia, para cada curva se obtiene para cada año la máxima precipitación para diferentes duraciones en este caso de cada cinco minutos hasta una hora. Así de cada curva anual se extraen esos valores. Una vez hecho esto se evalúa la intensidad de precipitación en mm/hr y se organizan los datos de cada serie de duraciones de mayor a menor intensidad y cada valor se asocia a una probabilidad o periodo de retorno.

Grafico 19. Curvas Intensidad de frecuencia



Fuente: Autores

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En la zona de estudio se determinaron unidades geológicas de edades que se van desde el jurásico hasta depósitos cuaternarios, donde se encuentran rocas de diferente composición y origen, dentro de las más antiguas se encuentran las formaciones Jordán y Girón. Se identifican del sistema cretáceo rocas pertenecientes las Formaciones Tambor, Rosablanca, Tablazo y Simiti.
- En los tramos de los tres ríos dentro del área, se inundara secciones de las formaciones Jordán, Girón, Tambor y Rosablanca hasta alcanzar la cota de 450 m, estas tendrán gran influencia a la hora de construcción de la represa puesto que estas formaciones por su composición arenosa podrían presentar algunas microfisuras por su grado de porosidad, pero su contenido de arcilla y limolita sería de gran ayuda para contrarrestar la infiltración al momento de llenado de la presa.
- La zona de estudio se encuentra en una zona de tectónica activa ya que en esta se encuentra principalmente la falla de Bucaramanga y la falla de Santa Marta, al igual se presentan un sistema de fallas dentro del área como la falla los santos y Suarez de tipo inverso, están a una distancia de 5 km de distancia de la construcción de la presa, aunque el área de estudio se encuentra en zona tectónicamente activa, traería implicaciones para la construcción de la represa.
- Para la hidrología de la zona de estudio se estableció que esta se encuentra ubicada en la cuenca del Magdalena donde se reconocen principalmente tres secciones de ríos importantes , Río Suarez, Río Chicamocha, que hacia el municipio de Zapatoca toma el nombre de Río Sogamoso, en este último se pretende ubicar la Represa. Para el análisis morfométrico se determinaron tres subcuencas, en donde se obtuvo parámetros de forma los cuales inciden en el dinamismo hidrológico superficial, presentando forma alargada donde el agua fluye con más rapidez hacia el cauce principal, los parámetros de drenaje indican una buena densidad de drenaje y orden de red hídrica alta los cuales son de gran aporte para la represa, mediante la realización de curvas hipsométricas representa subcuencas en estado de equilibrio y geológicamente maduras.

- Según la caracterización hidrometeorológica se determinó una precipitación media de 1506 mm/año, evapotranspiración de 819 mm, escorrentía superficial de 617 mm/año e infiltración 70 mm/año. Teniendo en cuenta los datos meteorológicos de las estaciones se realizaron mediante interpolación en software de Arcgis los mapas de isoyeta, isotermas, evapotranspiración, humedad relativa y balance hídrico en donde se estima un equilibrio hídrico en donde se ubicara la represa, es posible que no se presenten variaciones considerables para el funcionamiento de la misma.
- Los caudales se determinaron en base a los registros meteorológicos, donde el río Suarez presenta el mayor caudal medio mensual de 300,9 mm/s, relacionable a que las mayores precipitaciones se registran en esa zona, seguido de río Sogamoso con un caudal de 141,8 mm/s y el río Chicamocha con un caudal medio mensual de 102, 9 mm/s, estos determinan en gran medida la eficiencia de la represa.
- Se determinó un caudal de diseño de 39,35 m³/s de acuerdo a los caudales máximos registrados y tomado los valores de caudal mínimos como el caudal ecológico, que sería de 10,53 m³/s. siendo graficados y observando su variación, cabe resaltar que para los meses secos sería recomendable suspender una unidad de generación en la represa para mantener el caudal ecológico en la zona. El índice de escasez se halló teniendo en cuenta la oferta y la demanda hídrica, obteniendo un valor de 4,55 % que se encuentra dentro de la categoría mínima.
- Respecto a los datos obtenidos del registro del IDEAM, de estaciones climatológicas principal y ordinaria, fue necesario emplear formulas empíricas para hallar los datos faltantes de precipitación y debido a la falta de estaciones con datos de evapotranspiración se requiere hacer correcciones.
- Se recomienda realizar estudios sísmicos, pues la zona se encuentra en una región de susceptibilidad sísmica alta y por consiguiente esto representa un factor importante para el adecuado análisis y evaluación de la construcción y ejecución de la represa.

BIBLIOGRAFÍA

2010, IDEAM. *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Meteorología CORINE LAND COVER, Adaptada para Colombia Escala 1:100000.*

DELGADILLO A. y MORENO. 2008. *Morfometría De Cuencas.* Venezuela : s.n., 2008.

ALLAN, BATEMAN. 2007. *Hidrología Básica y Aplicada.* s.l. : Grupo de Investigaciones en Transporte de Sedimentos, 2007.

LONDOÑO ARANGO. 2001. *Cuencas Hidrográficas, Bases Conceptuales y Caracterización .* Ibagué : Universidad del Tolima, 2001.

Curso de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Enseñanza, Centro Agrario de Investigación y. **2007.** Turrialba, Costa Rica : s.n., 2007.

ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL, Municipio de los Santos-Santander.

G, MONSALVE. *Hidrología en la Ingeniería, Segunda Edición.*

GASPARI A, RODRIGUEZ A, SENISTERRA G, DELGADO M. 2013. *Elementos Metodológicos Para El Manejo De Cuencas Hidrográficas .* Buenos Aires, Argentina : s.n., 2013.

Gaspari F, Rodriguez A, Senisterra G, Denegri G. Morphometric characterization of the upper watershed of the Sauce Grande river, Buenos Aires, Argentina

ALMEDA A. y QUINTERO. *Introducción a la Hidrogeología.*

IBAÑES H, MORENO J, GISBERT J. *Valores de Numero de Curva, Cálculo de Escorrentía.* s.l. : Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad Politécnica de Valencia.

ITC. 1990. *Levantamiento Ecológico y Uso de Tierra.* Bogotá : s.n., 1990.

J., ORDOÑEZ. *Balance Hídrico Superficial, Cartilla Técnica Sociedad Geográfica de Lima.* Lima Perú : s.n.

ROYERO M. y CLAVIJO. 2001. *Geología Generalizada Departamento de Santander.* Bogotá D.C : s.n., 2001.

Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Meteorología y Estudios Ambientales.

Montserrat Jordi. Forma De Una Cuenca De Drenaje. Análisis De Las Variables Morfométricas Que Nos La Definen. Revista De Geografía, Barcelona 1985

Corine Land Cover. Apendice de Valores Número de Curva Para calculo de Escorrentía

Guia Metodologica Para Elaboracion de Balance Hidrico de America del Sur.
Unesco 1982

JAVIER, ALMOROX. 2010. *Metodos de Estimación Evapotranspiración y Balance Hídrico.* 2010.

LOZANO J, VARGAS V, ROMERO M. 2006. *Return Periods of Torrential Rains For The State Of Tamaulipas.* mexico : s.n., 2006.

BREÑA A y JACABO. 2010. *Principios y Fundamento De La Hidrologia Superficial.* Bogota : Casa del Tiempo, 2010.

RIVERA H, MARIN R, VANEGAS R. 2004. *Metodologia de Calculo de Indice de Escasez .* Bogota : s.n., 2004.

Secretaria de Planeación, Universidad Industrial de Santander. *DIAGNOSTICO DIMENDIÓN BIOFÍSICO AMBIENTAL TERRITORIAL DE SANTADER,.*

SQKOLOV A y CHAPMAN. 1981. *Metodos de Calculo de Balance Hídrico, Guia Internacional de Investigacion y Metodos.* España : s.n., 1981.

MESA A, RODRIGUEZ A, CORVACHO O, TAPIA A. Morphometric Analysis Of Micro Watersheds Affected For Debris Flows Caused By heavy rains in The Camiña Valle. Chile 2014